



Universidade de Brasília

INSTITUTO DE QUÍMICA

AMANDA ESPÍNDOLA FREIRE

IDENTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS DO DISTRITO
FEDERAL: UMA NOVA CLASSE DE CONTAMINANTES DE INTERESSE
EMERGENTE

BRASÍLIA, DF
2019



Universidade de Brasília

INSTITUTO DE QUÍMICA

AMANDA ESPÍNDOLA FREIRE

IDENTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS DO DISTRITO
FEDERAL: UMA NOVA CLASSE DE CONTAMINANTES DE INTERESSE
EMERGENTE

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Instituto de Química da Universidade de
Brasília – UnB, como parte dos requisitos
necessários para obtenção do título de Bacharel
em Química Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Fabriz Sodré

BRASÍLIA, DF
2019



Universidade de Brasília

INSTITUTO DE QUÍMICA

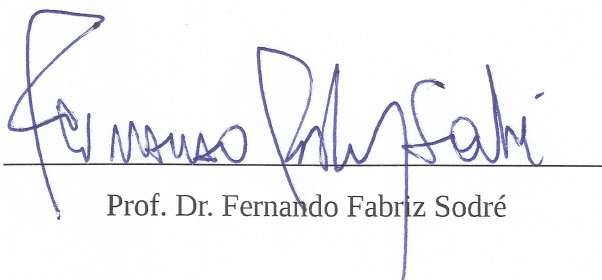
AMANDA ESPÍNDOLA FREIRE

IDENTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS DO DISTRITO
FEDERAL: UMA NOVA CLASSE DE CONTAMINANTES DE INTERESSE
EMERGENTE

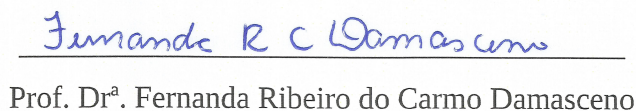
Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Instituto de Química da Universidade de
Brasília – UnB, como parte dos requisitos
necessários para obtenção do título de Bacharel
em Química Tecnológica.

Brasília, 09 de Dezembro de 2019

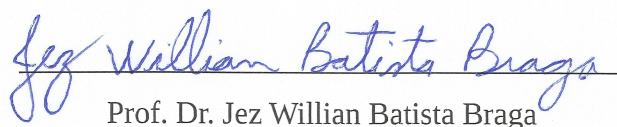
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fernando Fabriz Sodré



Prof. Dr.ª. Fernanda Ribeiro do Carmo Damasceno



Prof. Dr. Jez Willian Batista Braga

BRASÍLIA, DF
2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que esteve comigo em cada etapa da minha vida.

À minha família que me deu amor e carinho, sempre me incentivando nas minhas decisões. Em especial, à minha mãe que me conduziu a ser quem sou, que me dá suporte em tudo. É o maior exemplo de pessoa, forte e que sempre dá o seu melhor em tudo o que faz. Te amo, mãe.

Ao meu amor, João Pedro, por esses 5 anos de amor, amizade e companheirismo. Obrigada por estar comigo nos momentos mais felizes e também nos mais difíceis, não me deixando desistir. Que alcancemos aquilo que sonhamos e além.

Agradeço à Universidade de Brasília, em especial o Instituto de Química, pela infraestrutura e assistência.

Ao corpo docente do Instituto de Química que contribuiu para minha formação.

Ao meu orientador, Fernando Fabriz Sodré, por topar esse projeto. Obrigada pela confiança, ajuda e orientação.

Ao professor Julio Lemos de Macedo por disponibilizar o microscópio e auxílio durante a caracterização.

Aos companheiros do Laboratório de Quimiometria e Química Ambiental que foram sempre muito solícitos.

À equipe da Central Analítica do IQ e a FIPEQ, por manter e disponibilizar o equipamento para as análises de FT-IR. Obrigada por todo conhecimento e conselho durante o estágio, onde fiz amizades que desejo levar para a vida.

A todos amigos e colegas que fiz durante essa jornada, muito obrigada.

RESUMO

Os materiais plásticos possuem uma grande importância na vida do ser humano, presentes em quase tudo ao seu redor. Possuem características admiráveis: maleabilidade, durabilidade e resistência. Essas que os fazem tão interessantes são também o foco das mais recentes preocupações ambientais. Usados em larga escala e tendo descartes inadequados, plásticos chegam ao meio ambiente em abundância, onde passam por processos de degradação gerando uma nova classe de contaminantes de interesse emergente: os microplásticos. Definidos como fragmentos de dimensões menores que 5 mm, essas partículas têm grande mobilidade e podem ser encontradas em diversos compartimentos do meio ambiente. Este estudo teve como principal objetivo verificar a presença de microplásticos em afluentes de diferentes estações de tratamento de esgotos (ETE's) do Distrito Federal. Para isso, amostras de diferentes volumes (14,95-0,850 L) de esgoto bruto passaram por filtrações sequenciais em peneiras aço de diferentes granulometrias (300, 150, 90 e 45 μm), para o isolamento do material sólido. Em seguida, houve a oxidação da matéria orgânica por reação de Fenton e separação dos plásticos remanescentes por densidade. O material final foi analisado morfolologicamente e triado, utilizando microscopia óptica. Para a identificação dos polímeros constituintes foi utilizada espectroscopia de absorção no infravermelho médio (FT-IR) com refletância total atenuada (ATR). Os resultados mostraram a presença de microplásticos, de diferentes formatos e cores, nas diferentes granulometrias em todas as estações analisadas. Com os resultados de FT-IR houve a confirmação de polietilenos, alta e baixa densidade, como polímeros de formação. Assim, a comprovação da presença de microplásticos atenta para mais um contaminante a ser investigado em estudos futuros.

ABSTRACT

Plastic materials have a great importance in human life, present in almost everything around them. They have admirable characteristics: malleability, strength and endurance. Those that make them so interesting are also the focus of the latest environmental concerns. Used on a large scale and having improper disposal, plastics reach the environment in abundance, where they undergo degradation processes, generating a new class of contaminants of emerging interest: microplastics. Defined as fragments of dimensions smaller than 5 mm, these limits are large and can be found in various compartments of the environment. The main objective of this study was to verify the presence of microplastics in the tributaries of different sewage treatment plants in the Federal District. For this, different volume sizes (14,5 – 0,850 L) was processed raw by sequential filters in steel sieves of different particle sizes (300, 150, 90 and 45 μm) for the isolation of solid material. Then there was oxidation of the organic matter by Fenton reaction and separation of the remaining plastics by density. The final material was morphologically analyzed and sorted using optical microscopy. For the identification of the constituent polymers, the medium infrared absorption spectroscopy (FT-IR) with attenuated total reflection (ATR) was used. The results show the presence of microplastics, different shapes and cores, different particle sizes in all analyzed stations. With the FT-IR results there was a confirmation of high density and low density polyethylene as forming polymers. Thus, a proof of the presence of microplastics pays attention to another contaminant to be investigated in future studies.

Lista de figuras

Figura 1: Reação de polimerização do etileno ⁴	14
Figura 2: Amostrador automático usado na coleta das amostras.....	21
Figura 3: Fluxograma para análise de microplásticos.....	23
Figura 4: Peneiras usadas na filtração das amostras, com abertura de 300, 150, 90 e 45 µm. 24	
Figura 5: Placa de Petri com sólidos obtidos após o peneiramento da amostra M300.....	25
Figura 6: Amostras aquecidas para oxidação da matéria orgânica.....	26
Figura 7: Esquema para separação dos microplásticos por densidade, em solução saturada de NaCl.....	27
Figura 8: Materiais plásticos utilizados como referências, separados segundo simbologia ABNT.....	29
Figura 9: Amostras antes da oxidação, onde: 1) Su300; 2) RF300; 3) M300; 4) Sa300.....	30
Figura 10: Reação de Fenton ¹³	31
Figura 11: Amostras, 1)B45 e 2)B300, após passar por oxidação e separação por densidade 31	
Figura 12: Microplásticos selecionados durante caracterização visual para: 1) M300 e 2) Sa300.....	32
Figura 13: Superfícies de microplásticos de: 1-3) Sa300 e 4-6)M300.....	33
Figura 14: Microscopia com objetiva de 4X, para microplásticos encontrados em M300.....	34
Figura 15: Microscopia de um possível microplástico na amostra F45. 1) objetiva de 4x; 2) objetiva de 10x.....	34
Figura 16: Filamentos encontrados nas amostras: 1 e 3) F45, objetiva de 4X e 10X, respectivamente; 2) B45, objetiva de 4x.....	35
Figura 17: Microplásticos encontrados nas amostras: 1) RF300; 2) M150.....	36
Figura 18: Microfibras encontradas nas amostras: 1) Su300; 2) RF150; 3) RF300; 4) F90....	37
Figura 19: Microplásticos com pontas pontiagudas e com incrustações. 1) Su300; 2) AL300.....	38
Figura 20: Comparação entre os espectros de FT-IR das referências PEAD azul escuro e PEBD.....	40
Figura 21: Espectro FT-IR das amostras RF300 e a referência PEAD azul escuro.....	41
Figura 22: Espectro FT-IR da amostra M300 e a referência PEBD.....	42
Figura 23: Espectro da amostra Sa300 e a referência PEAD azul escuro.....	43
Figura 24: Espectro FT-IR das amostras Su300 e a referência PEBD.....	44
Figura 25: Espectro FT-IR da referência PET Preto.....	49
Figura 26: Espectro FT-IR da referência PVC Marrom.....	49
Figura 27: Espectro FT-IR da referência PP Laranja.....	49
Figura 28: Espectro FT-IR da referência PP Vermelho.....	50
Figura 29: Espectro FT-IR da referência PP Rosa.....	50
Figura 30: Espectro FT-IR da referência Outros Verde.....	50
Figura 31: Espectro FT-IR da referência Outros Vinho.....	51
Figura 32: Espectro FT-IR da amostra M300 Azul 1.....	51
Figura 33: Espectro FT-IR da amostra M300 Azul 2.....	51
Figura 34: Espectro FT-IR da amostra M300 Azul 3.....	52
Figura 35: Espectro FT-IR da amostra M300 Branco 1.....	52
Figura 36: Espectro FT-IR da amostra M300 Branco 2.....	52

Figura 37: Espectro FT-IR da amostra M300 Branco 3.....	53
Figura 38: Espectro FT-IR da amostra M300 Preto 1.....	53
Figura 39: Espectro FT-IR da amostra M300 Preto 2.....	53
Figura 40: Espectro FT-IR da amostra M300 Rosa.....	54
Figura 41: Espectro FT-IR da amostra M300 Verde.....	54
Figura 42: Espectro FT-IR da amostra Sa300 Amarelo.....	54
Figura 43: Espectro FT-IR da amostra Sa300 Azul claro.....	55
Figura 44: Espectro FT-IR da amostra Sa300 Branco.....	55
Figura 45: Espectro FT-IR da amostra Sa300 Cinza.....	55
Figura 46: Espectro FT-IR da amostra Sa300 Preto.....	56

Lista de tabelas

Tabela 1: Polímeros e seus símbolos, relacionados ao percentual de consumo ⁵	16
Tabela 2: Materiais, soluções e instrumentos utilizados.....	19
Tabela 3: Acrônimo, datas de coleta e volume de amostras para cada ETE.....	22

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 GERAL.....	13
2.2 ESPECÍFICOS.....	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
3.1 PLÁSTICOS.....	14
3.2 MICROPLÁSTICOS.....	17
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
4.1 MATERIAIS, INSTRUMENTOS E SOLUÇÕES.....	18
4.2 AMOSTRAGEM DE ESGOTO BRUTO.....	20
4.3 MÉTODOS ANALÍTICOS PARA SEPARAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS.....	22
4.3.1 PREPARO DAS AMOSTRAS.....	23
4.3.2 CARACTERIZAÇÃO VISUAL E POR MICROSCOPIA ÓPTICA.....	28
4.3.3 CARACTERIZAÇÃO POR INFRAVERMELHO (FT-IR).....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1 ANÁLISE QUALITATIVA.....	29
5.1.1 CARATERIZAÇÃO POR MICROSCOPIA.....	33
5.1.2 ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO NO INFRAVERMELHO COM ATR.....	38
6 CONCLUSÃO.....	45
7 BIBLIOGRAFIA.....	46
8 ANEXOS.....	49

1 INTRODUÇÃO

A sociedade da indústria de plásticos (do inglês, *Society of the Plastics Industry*) (*apud* LOKENSGARD,2013) traz a definição de plástico como um grupo variado de materiais que, mesmo tendo o estado final sólido, passa por um estado liquefeito em algum dos estágios de fabricação, podendo assim ser moldado. Tal material possui características como versatilidade e durabilidade, que lhe conferem uma grande importância para o padrão de vida das sociedades modernas e seu desenvolvimento atual.

Presente nos diversos objetos ao nosso redor, sua principal característica, a durabilidade, tem sido alvo de estudos associados com foco em problemas ambientais. Seus resíduos, que se espalham cada vez mais, possuem baixa degradabilidade, e quando sofrem fragmentação, levam a uma nova classe de contaminantes: os microplásticos.

Definidos como fragmentos de dimensões menores que 5 mm, os microplásticos têm uma grande facilidade de se espalhar no ambiente. Por isso, muitos estudos estão sendo realizados para buscar entender seu aporte nos diferentes compartimentos ambientais e também as consequências.

Para verificar a presença de microplásticos em amostras de afluentes, de diferentes estações de tratamento de esgoto (ETE) do Distrito Federal, foram realizadas filtrações em peneiras de diferentes granulometrias (300, 150, 90 e 45 μm), para o isolamento do material sólido. Para preparar as amostras fez-se uma oxidação da matéria orgânica, baseada na reação de Fenton, com uma posterior separação por densidade, utilizando solução saturada de cloreto de sódio (NaCl).

Para analisar e fazer uma triagem do material obtido após as etapas de preparação, foram realizadas análises morfológicas utilizando microscopia óptica, com objetivas de 4 e 10x. Após a separação, os microplásticos selecionados foram submetidos a espectroscopia de infravermelho médio (FT-IR) com refletância total atenuada (ATR) para caracterizar seu polímero de formação.

Baseado nos grandes volumes de efluente doméstico que são gerados, é interessante o estudo para avaliar a presença de microplásticos nessa fração que

entra nas estações de tratamento, servindo como base para futuros estudos sobre a necessidade de tratamentos específicos para esse poluente.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

O presente estudo visa verificar a presença de microplásticos em diferentes amostras de esgotos brutos do Distrito Federal de modo que seja possível incentivar (i) estudos futuros voltados ao diagnóstico de áreas impactadas, (ii) a compressão do comportamento ambiental destes contaminantes de interesse emergente e (ii) métodos de controle e tratamento ambiental de fontes poluidoras.

2.2 ESPECÍFICOS

- Compreender a origem dos microplásticos;
- Verificar a presença de microplásticos em afluentes de ETEs;
- Analisar os diferentes microplásticos encontrados, utilizando microscopia óptica e espectroscopia no infravermelho (FT-IR);
- Gerar dados que incentivem estudos sobre esse tipo de contaminante emergente, e de possíveis tratamentos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 PLÁSTICOS

A palavra plástico vem de do grego *plastikos*, que significa dar forma ou ajuste de moldagem, assim um material plástico é aquele fácil de se moldar em condições específicas de pressão e calor.¹

O plástico é um dos variados tipos de polímeros. Estes possuem uma elevada massa molecular pois são formados por cadeias de macromoléculas constituídas de unidades básicas que se repetem dentro da estrutura. Essas unidades são os chamados “meros”, formados através de reações de polimerização, onde os monômeros, moléculas simples, são ligados por ligações covalentes. Na Figura 1 é apresentada a polimerização do monômero etileno, levando a formação dos meros e, conseqüentemente, do polímero polietileno (PE) amplamente utilizado na indústria. O índice *n* é o grau de polimerização, que indica o número de monômeros que se repetem no polímero ²⁻⁴.

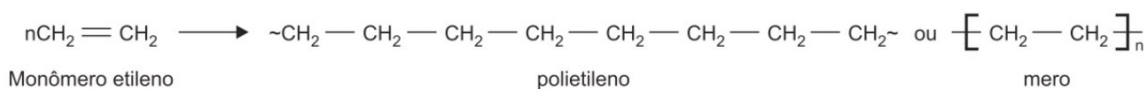


Figura 1: Reação de polimerização do etileno⁴

Os plásticos podem ser produzidos a partir de matérias-primas de origem natural, comumente encontrados em plantas e animais (amido, celulose, entre outros), ou sintética, obtidos por transformações químicas em laboratório.

Os monômeros de origem natural podem ser de fontes renováveis ou fósseis. As renováveis são advindas da cana-de-açúcar, do milho e da celulose encontrada em diversos vegetais por exemplo. Já os de origem fóssil podem vir do carvão mineral e da fração nafta do petróleo, que passa por um processo de craqueamento térmico para dar origem a diversas substâncias, incluindo os monômeros⁴⁻⁶.








Os plásticos podem ser classificados quanto às suas características de fusibilidade, podendo ser termoplástico ou termofixo. Quando o material polimérico é

submetido a altas temperaturas e pressão amolece, funde-se e pode ser moldado com o resfriamento. Os termoplásticos, após passar por tais etapas, não sofrem alterações em sua estrutura química e, se submetido a um novo aquecimento, podem ser remoldados, uma reciclagem do material. Já os termofixos, após passar pelo aquecimento, sofrem reações químicas irreversíveis durante a etapa de resfriamento e solidificação, impedindo sua remoldagem. Estes são mais resistentes a variações de temperaturas e, caso sejam sujeitos a altas temperaturas, sofrem decomposição ⁴⁻⁶.

Os termoplásticos existem em uma grande variedade de materiais e são os mais utilizados na indústria. Segundo o Perfil 2018 da Associação Brasileira de Indústria do Plástico⁵, a produção brasileira de termoplásticos em 2017 chegou a 2,7 milhões de toneladas. Dentre as resinas consumidas no Brasil, os termoplásticos representaram mais de 60%. Alguns exemplos de termoplásticos com destaque são: poli(tereftalato de etileno) (PET), polietileno de alta densidade (PEAD), policloreto de vinila (PVC), polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP) e poliestireno (PS).

A Tabela 1 mostra os polímeros termoplásticos mais comuns, seu percentual de consumo em 2017, e os símbolos para suas identificações. Esses símbolos são estabelecidos pela norma ABNT NBR 13230, que visa auxiliar na separação de produtos plásticos, segundo sua composição, e posteriormente na reciclagem desses materiais⁵.

Tabela 1: Polímeros e seus símbolos, relacionados ao percentual de consumo⁵

Polímero	Símbolo	Percentual de consumo (%)
Poli (tereftalato de etileno)	 1 PET	5,9
Polietileno de alta densidade	 2 HDPE	13,5
Policloreto de vinila	 3 PVC	12,6
Polietileno de baixa densidade	 4 LDPE	11,4
Polipropileno	 5 PP	20,3
Poliestireno	 6 PS	5,7
Outros (EVA, plásticos reciclados, plásticos de engenharia, etc)	 7 OTHER	30,6

Produzidos em larga escala pelo mundo, os plásticos são usados nos mais diversos setores, como: construção civil, alimentos, móveis, higiene, limpeza e etc. Ele se tornou um símbolo da sociedade, principalmente em relação ao consumo descartável. ²

Após o uso esse material é descartado, em sua maioria, com um mau gerenciamento. Com baixos índices de coleta e de gerenciamento de resíduos, os plásticos acabam descartados diretamente em aterros ou na natureza. Como consequências são relatados diversos impactos ambientais, como: enredamento de

animais, provocando lesões ou até morte, a ingestão e degradação do habitat natural.^{2,21}

Estudos mostram que não apenas os animais estão sendo atingidos por esse contaminante. Mason, S. A. *et al.*²² pesquisaram a presença de plásticos em diferentes marcas de água engarrafada, e encontraram pequenos fragmentos e fibras plásticas com tamanhos maiores que 100 µm. Esse tipo de material é o novo, chamados microplásticos, é o novo foco de atenção, buscando entender seu aporte nos diferentes compartimentos ambientais e também as consequências.²¹

3.2 MICROPLÁSTICOS

Os primeiros fragmentos de plásticos foram observados em rebocadores de plâncton na América do Norte na década de 1970⁷. Desde então tem sido verificada a sua presença em diversas partes do globo e em diferentes compartimentos, na biota, nas águas marinhas, água doce e em seus sedimentos.

Segundo o Wokshop Internacional de Pesquisa sobre Detritos Marinhos Plásticos de 2008, realizado pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), os microplásticos são descritos como partículas de plásticos menores que 5 milímetros. Quanto ao limite inferior, ainda não há uma definição universal aceita, embora exista discussão sobre a reavaliação desses extremos. O prefixo “micro” deveria implicar em ser necessária a utilização de microscopia para visualizar tais materiais, porém a definição atual permite que alguns microplásticos possam ser vistos a olho nu. Espera-se que após estabelecidas novas classificações, com limites mais bem definidos, exista um favorecimento de estudos sobre os efeitos de materiais plásticos de diferentes tamanhos^{8,9}.

São duas as principais fontes desses micropoluentes, sendo então divididos em primários e secundários. Os primários são aqueles produzidos intencionalmente em tamanho microscópico, enquanto que os secundários são decorrentes da fragmentação de plásticos maiores.

Microplásticos primários são fabricados para uso direto na indústria, como abrasivos em produtos de limpeza e cosméticos, ou como antecessores de outros produtos. Um exemplo são os grânulos, chamados *pellets*, encontrados em diversas

formas (esféricas, cilíndricas) e tamanhos, comumente derivados de PP, PE e PS, e vendidos comercialmente para serem derretidos e moldados de acordo com o produto final. Estes chegam ao meio ambiente de maneira direta, por descarte incorreto, por perda acidental ou também por não serem retidos em estações de tratamento de esgoto^{8,9}.

Já os microplásticos secundários são resultados de processos de degradação físicos, químicos e biológicos. A taxa de produção de materiais secundários possui relação direta com as características do plástico “mãe” e com as condições ambientais aos quais este será exposto. Os fragmentos formados possuem propriedades físicas e químicas mais frágeis e tendem a se subdividir formando partículas cada vez menores com potencial de se acumularem cada vez mais no ambiente¹⁰⁻¹².

Os impactos ambientais ainda estão em fase de exploração, porém já verificou-se a presença dessas substâncias em organismos vertebrados e invertebrados. Confundidos com alimentos eles são ingeridos e podem causar falsa sensação de saciedade, bloqueio intestinal e úlceras, e como consequência pode haver uma bioacumulação e uma posterior biomagnificação. Estudos também mostram que ocorrem desde do ambiente marinho a águas doces, em suspensão na coluna d’água e nos sedimentos, e tal abrangência tem levado a uma acumulação gradual, significativa a longo prazo^{7,11,12}.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS, INSTRUMENTOS E SOLUÇÕES

A Tabela 2 apresenta todos os materiais, soluções e instrumentos utilizados e sua função na realização do trabalho.

Tabela 2: Materiais, soluções e instrumentos utilizados

Material/ Equipamento/ Solução	Marca/ Modelo	Função
Peróxido de Hidrogênio 30%	VETEC	Degradação da matéria orgânica
Sulfato de ferro heptahidratado	Fmaia	Degradação da matéria orgânica
Ácido Sulfúrico	VETEC	Degradação da matéria orgânica
Chapa de Aquecimento	IKA/ C-MAG HS 7	Degradação da matéria orgânica
Cloreto de Sódio Comercial	Dunorte	Separação por densidade
Funil de vidro	-	Separação por densidade
Água Destilada e Ultrapura	Millipore/ Direct 8	Preparo de solução/ Lavagem
Peneiras de Inox	Bertel	Preparo de amostras
Estufa	Ethiktechnology	Secagem de amostras
Balança Analítica	Shimadzu/ AX200	Pesagem de amostras
Espectrofotômetro de Infravermelho	Varian / 640	Determinação analítica
Microscópio Biológico	Digilab / DI - 116B	Análise visual de amostras
Membrana de éster de celulose	PALL/ GN-6	Análise visual de amostras

Para a etapa de degradação da matéria orgânica foi preparada uma solução aquosa de sulfato de ferro (II) 0,05 mol/L, onde foram pesados 7,5 g do sal heptahidratado e, em seguida, transferiu-se a massa para balão volumétrico de 500 mL. Adicionaram-se também 3 mL da solução de ácido sulfúrico concentrado para que o pH se mantivesse na faixa adequada para a reação de Fenton. Completou-se o balão com água ultrapura.

A solução de NaCl saturada, necessária para a separação por densidade, foi feita de forma a se obter uma concentração de 5 mol/L. Foram pesados 146,1 g do sal e, em seguida, transferiu-se para um béquer de 500 mL, com 400 mL de água

destilada. Para ajudar na dissolução do sal, a solução foi aquecida a 50 °C em uma chapa de aquecimento. Em seguida, a solução foi deixada sobre a bancada até atingir temperatura ambiente. Transferiu-se o volume para um balão de 500 mL, e completou-se com água destilada.

4.2 AMOSTRAGEM DE ESGOTO BRUTO

A amostragem do esgoto bruto foi realizada pelos funcionários da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb), em algumas de suas estações de tratamento de esgoto (ETE). As ETE's escolhidas para o estudo foram: Sul, Riacho Fundo, Melchior, Samambaia, Águas Lindas, Brazlândia e Fercal.

O ponto da ETE onde ocorreram as coletas foi logo após o tratamento preliminar, que consiste de: grades, peneiras e caixas de areia. Esta etapa é importante no processo pois retira os resíduos maiores, evitando danos às próximas unidades de tratamento e facilitando o transporte do efluente.

A empresa realiza análises físico-químicas, em laboratórios próprios, de suas amostras em dias programados. Assim as coletas aconteceram seguindo essa rotina, em dias e em volumes variados, com diferentes números de coletas entre as estações. As amostragens aconteceram no período de 30/09/2019 a 17/10/2019.

O material de estudo foi retirado de amostras compostas, resultantes do somatório das amostras individuais coletadas no período de 24 h. As coletas foram feitas com o auxílio de amostradores automáticos (Figura 2). Ao final desse intervalo, as alíquotas obtidas pelo amostrador automático são colocadas em galões plásticos 5 litros identificados.



Figura 2: Amostrador automático usado na coleta das amostras

Para a realização das análises, as diferentes amostras de cada ETE foram agrupadas entre si, ficando ao fim dos peneiramentos, uma amostra de cada estação contendo alíquotas de diferentes dias. A Tabela 3 apresenta os dias de coleta, os acrônimos utilizados e os volumes finais das amostras coletadas.

Tabela 3: Acrônimo, datas de coleta e volume de amostras para cada ETE

ETE	Acrônimo	Datas de coleta	Volume (L)
Sul	Su	03/10	14,950
		08/10	
		10/10	
		13/10	
		15/10	
		17/10	
Riacho Fundo	RF	03/10	9,450
		10/10	
		14/10	
		17/10	
Melchior	M	02/10	6,395
		08/10	
		09/10	
		13/10	
		15/10	
		16/10	
Samambaia	Sa	02/10	3,085
		09/10	
		16/10	
Águas Lindas	AL	30/09	2,490
		14/10	
Brazlândia	B	30/09	4,890
		14/10	
Fercal	F	09/10	0,850

4.3 MÉTODOS ANALÍTICOS PARA SEPARAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS

A NOAA em seu manual *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic*

particles in waters and sediments (2015), descreve um método de separação e identificação de partículas sintéticas, com tamanhos de 0,3 mm a 5 mm. Tal metodologia é aplicável para os plásticos mais comuns: polipropileno, polietileno, cloreto de polivinil e poliestireno. E se baseia em submeter as amostras de água à peneiramento, utilizando peneiras de aço inox, com posterior oxidação por peróxido úmido e separação por densidade em solução saturada de cloreto de sódio⁷. Na Figura 3 é apresentado um fluxograma da metodologia utilizada.

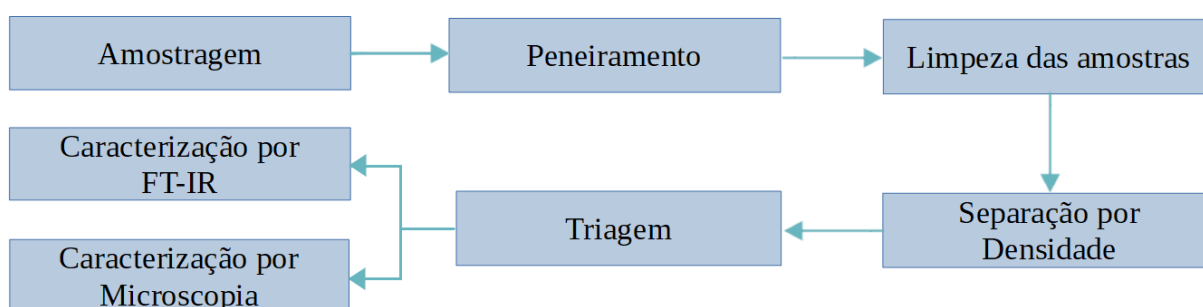


Figura 3: Fluxograma para análise de microplásticos

Embora o método seja aplicável para partículas maiores que 0,3 mm, optou-se por expandir a faixa de tamanho, avaliando a aplicabilidade para partículas que ficavam retidas em peneiras de menores aberturas.

4.3.1 PREPARO DAS AMOSTRAS

4.3.1.1 Peneiramento por via úmida

As peneiras utilizadas foram as de abertura: 300, 150, 90 e 45 μm , empilhadas de cima para baixo em ordem decrescente de abertura (Figura 4).



Figura 4: Peneiras usadas na filtração das amostras, com abertura de 300, 150, 90 e 45 µm

As amostras inicialmente tiveram seus volumes medidos com o auxílio de proveta e, em seguida, foram passadas pelo arranjo de peneiras empilhadas. Após verter toda a amostra pelas peneiras, usou-se água destilada para fazer a lavagem da proveta e do frasco onde se encontrava a amostra de modo a permitir toda a transferência da amostra. O material obtido foi transferido para placas de Petri de vidro com auxílio de uma espátula (Figura 5). Foi realizada a lavagem das peneiras com o mínimo de água destilada, até a total transferência dos sólidos. Em seguida, deixou-se as placas em uma estufa de circulação a 90 °C, por 24 h, para secagem dos sólidos.

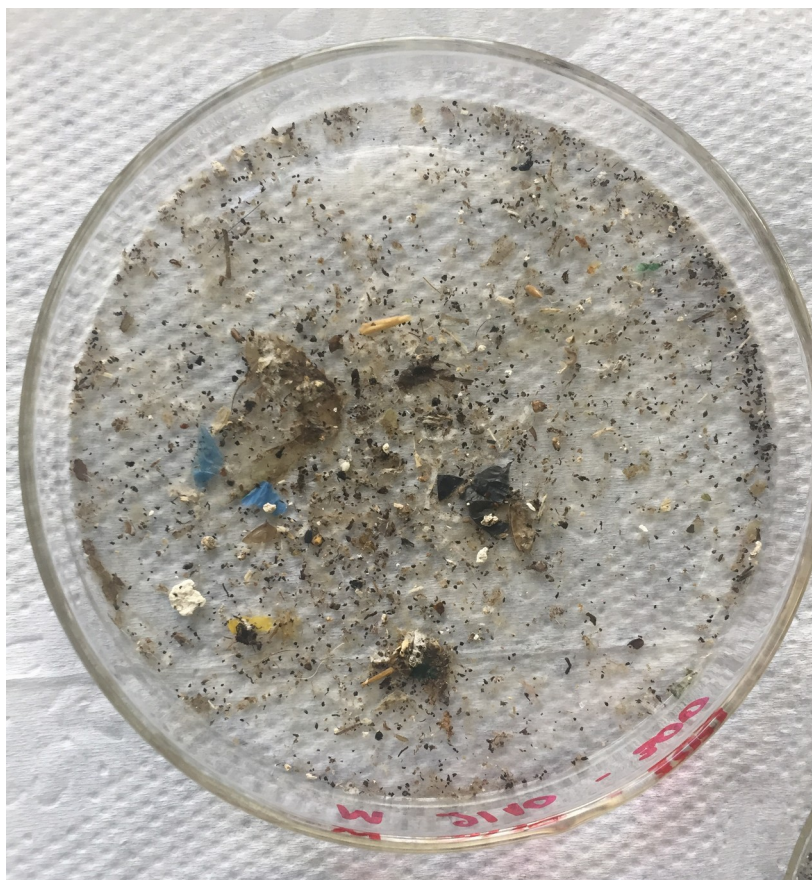


Figura 5: Placa de Petri com sólidos obtidos após o peneiramento da amostra M300

4.3.1.2 Limpeza das amostras

As amostras retidas nas peneiras foram submetidas à remoção de matéria orgânica utilizando a reação de Fenton. Inicialmente transferiu-se o sólido seco, de granulometria 300 μm para um béquer de 250 mL. Sólidos com as demais granulometrias foram transferidos para béqueres de 150 mL. Em seguida, dentro da capela, foram adicionados 20 mL da solução aquosa de 0,05 mol/L de sulfato de ferro, e 20 mL de peróxido de hidrogênio 30%. A mistura foi deixada em repouso sob temperatura ambiente durante 5 minutos.

Posteriormente, colocou-se barra de agitação magnética nos béqueres que foram cobertos com vidro relógio. Com o auxílio de uma chapa de aquecimento, a mistura foi mantida sob agitação a 75°C por 30 min (Figura 6). Durante o processo a

solução levanta fervura, e quando houve potencial para transbordar foi adicionado água destilada para retardar a reação. Ao fim do tempo, caso ainda fosse visível matéria orgânica o processo se repetiria adicionando outros 20 mL de peróxido.

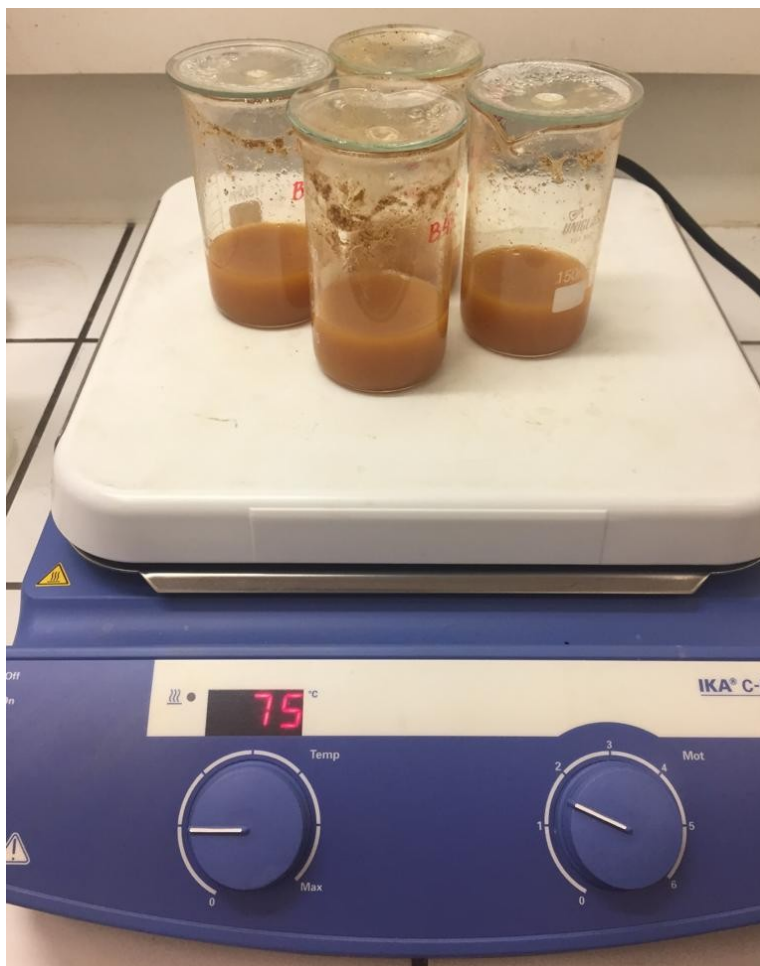


Figura 6: Amostras aquecidas para oxidação da matéria orgânica

Após esfriar a temperatura ambiente, as amostras foram peneiradas e lavadas com água destilada, para posteriormente passar pela etapa de separação por densidade.

4.3.1.3 Separação dos microplásticos por densidade

Para realizar a separação dos microplásticos por densidade, foi montado um esquema, utilizando funil de vidro, onde se adaptou uma mangueira em sua extremidade inferior, vedada com fita veda rosca e fita adesiva (Figura 7). Dentro do funil colocou-se a solução saturada de NaCl 5 mol/L.

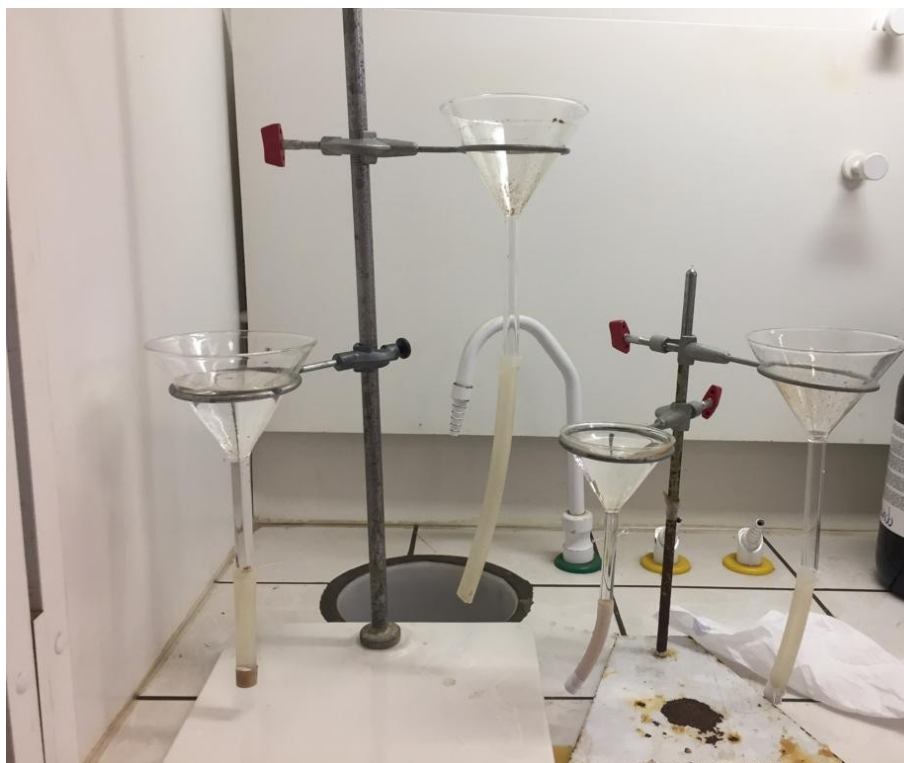


Figura 7: Esquema para separação dos microplásticos por densidade, em solução saturada de NaCl

Os sólidos obtidos na etapa de oxidação foram transferidos para o esquema mostrado da Figura 7, lavando-se com água destilada a peneira para a transferência de todos os sólidos. O sistema foi coberto com papel alumínio, de forma frouxa, e o material ficou em repouso de um dia para outro.

No dia seguinte, com cuidado e auxílio de uma mangueira, foram descartados os sólidos depositados no fundo do funil. Os flutuantes foram drenados novamente para a peneira, lavando diversas vezes o funil para coletar todo sólido. O material foi lavado com água destilada e transferidos para membranas de éster de celulose (47 mm de diâmetro e 0,45 μm de porosidade), utilizando sistema de

filtração a vácuo. As membranas foram cobertas para secagem, e posterior análise microscópica.

A identificação das amostras foi realizada nas próprias membranas, utilizando o acrônimo de cada estação, seguido do número da abertura da peneira, onde foi coletada. Por exemplo, F45, contém sólidos da ETE Fercal, retidos na peneira de 45 μm de porosidade.

4.3.2 CARACTERIZAÇÃO VISUAL E POR MICROSCOPIA ÓPTICA

Inicialmente, foi realizada uma caracterização visual do material depositado nas membranas para a presença de microplásticos. Para algumas amostras de 300 μm era possível vê-los a olho nu. Nesses casos, com o auxílio de uma pinça, os fragmentos foram selecionados e separados em uma nova membrana, para que fossem priorizados nas análises morfológicas em relação aos de tamanho menor. Nos demais casos, a caracterização foi por microscopia óptica.

Para os microplásticos triados e as amostras onde não foi possível fazer uma identificação visual, fez-se uma inspeção utilizando um microscópio, em sua objetiva de 4X. Quando foram encontrados materiais com possibilidade de serem microplásticos, usava-se a objetiva de 10X para avaliar melhor as características morfológicas.

4.3.3 CARACTERIZAÇÃO POR INFRAVERMELHO (FT-IR)

Após a triagem dos microplásticos, eles foram caracterizados em um espectrômetro de absorção no infravermelho (FT-IR) com refletância total atenuada (ATR), modelo 640, da Varian, para uma possível identificação do polímero de formação. A região do espectro usada foi de 4000-650 cm^{-1} , empregando 16 varreduras.

Inicialmente, foi feita uma limpeza do cristal do equipamento e, em seguida realizada a leitura do branco. Para obtenção dos espectros, o material era

posicionado sobre o cristal, com o auxílio de uma pinça. Entre cada leitura o cristal foi limpo utilizando algodão embebido de solução de etanol.

Para criar um banco de referência, foram selecionadas embalagens de uso comum (cosméticos, produtos de limpeza, descartáveis e etc), usadas, neste trabalho, como padrões de comparação (Figura 8). A escolha foi baseada nos símbolos constantes nas próprias embalagens. Para esses materiais também foram feitas análises de FT-IR.

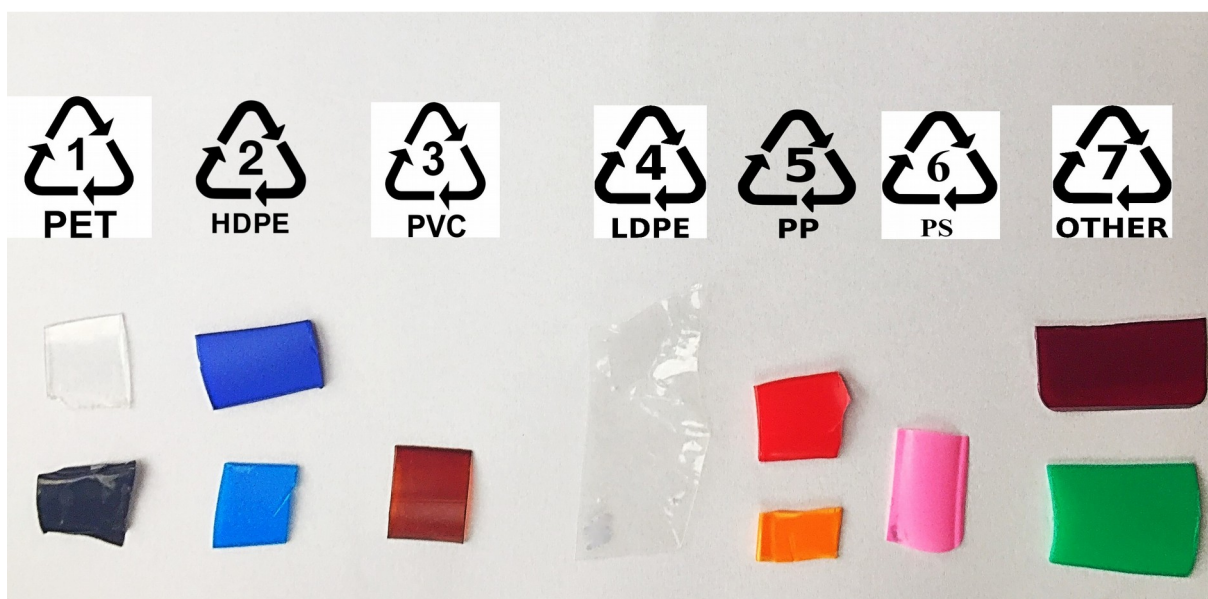


Figura 8: Materiais plásticos utilizados como referências, separados segundo simbologia ABNT

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE QUALITATIVA

Antes das amostras passarem pelas etapas de purificação havia muito material orgânico, o que dificultava a visualização dos microplásticos. Para duas estações, Melchior e Samambaia, mesmo antes da purificação, já era possível visualizar materiais plásticos nas amostras de 300 μm , enquanto para as outras granulometrias e estações foi necessário o uso da microscopia. Na Figura 9 são

apresentados alguns exemplos, onde foi possível observar microplásticos, destacados de vermelho, nas Figuras 9.3 e 8.9.

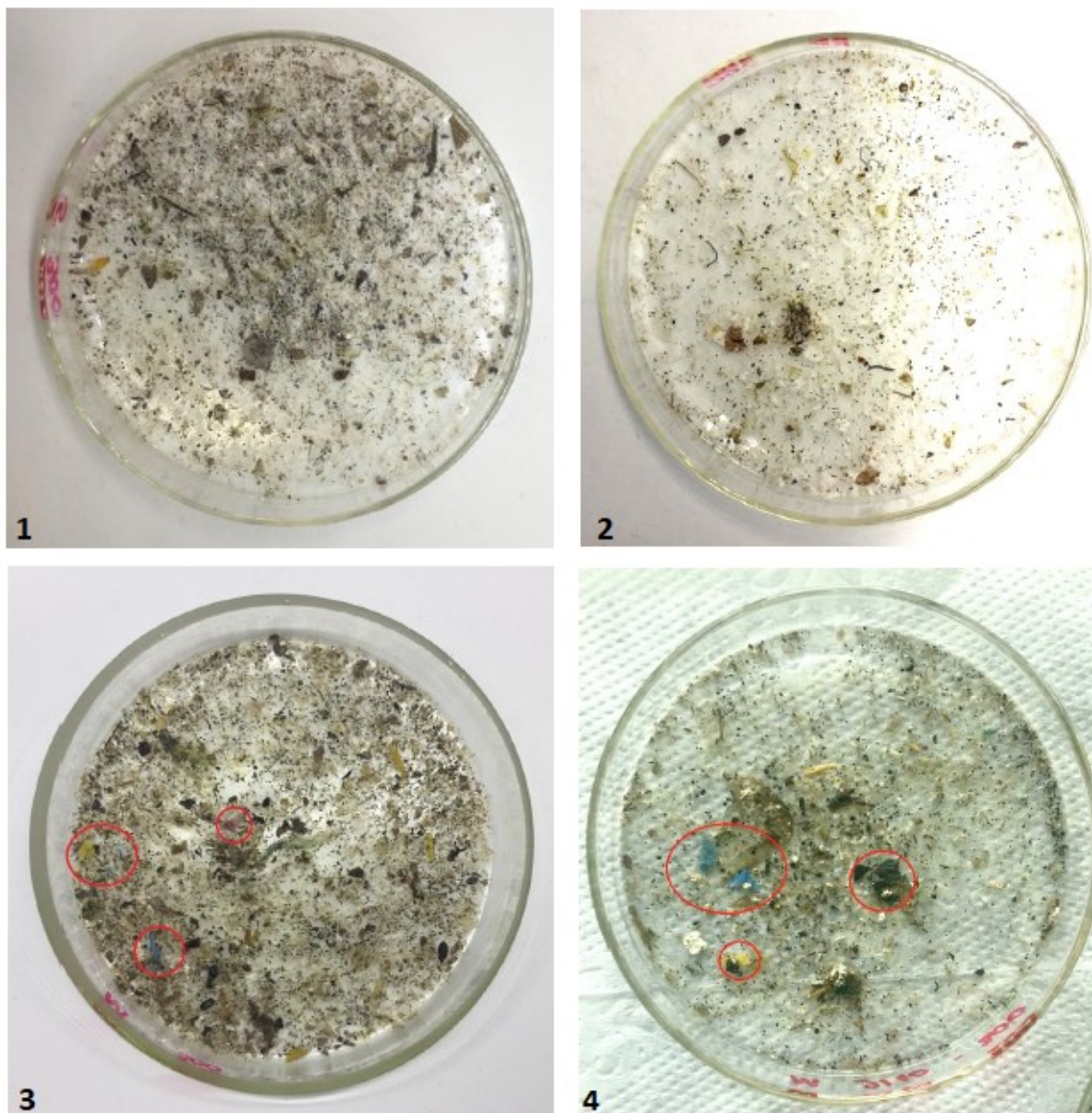


Figura 9: Amostras antes da oxidação, onde: 1) Su300; 2) RF300; 3) M300; 4) Sa300

Para a etapa de degradação da matéria orgânica utilizou-se um processo oxidativo avançado (POA). Nele, tem-se um agente oxidante forte, que reage com espécies orgânicas, gerando composto mais simples, água e dióxido de carbono. No estudo foi utilizada a reação de Fenton, que usa o peróxido de hidrogênio e ferro II,

para geração do radical hidroxila, conforme apresentado na Figura 10. Para que tenha o máximo de eficiência é necessário uma atenção ao pH do meio, que deve ser na faixa de 2,5 e 3,0. Em valores maiores há formação de hidróxidos de ferro, insolúveis, que diminuem a interação do íons de ferro com o peróxido, afetando diretamente na formação do hidróxido ¹³⁻¹⁵.



Figura 10: Reação de Fenton¹³

Após a purificação a massa restante de sólidos, resistentes a oxidação e que flutuaram na solução de NaCl, era muito menor que no início, como exemplificado na Figura 11. As amostras adquiriram uma coloração alaranjada, possivelmente, pela precipitação de hidróxido de ferro durante a reação de Fenton, por um pH não totalmente adequado.

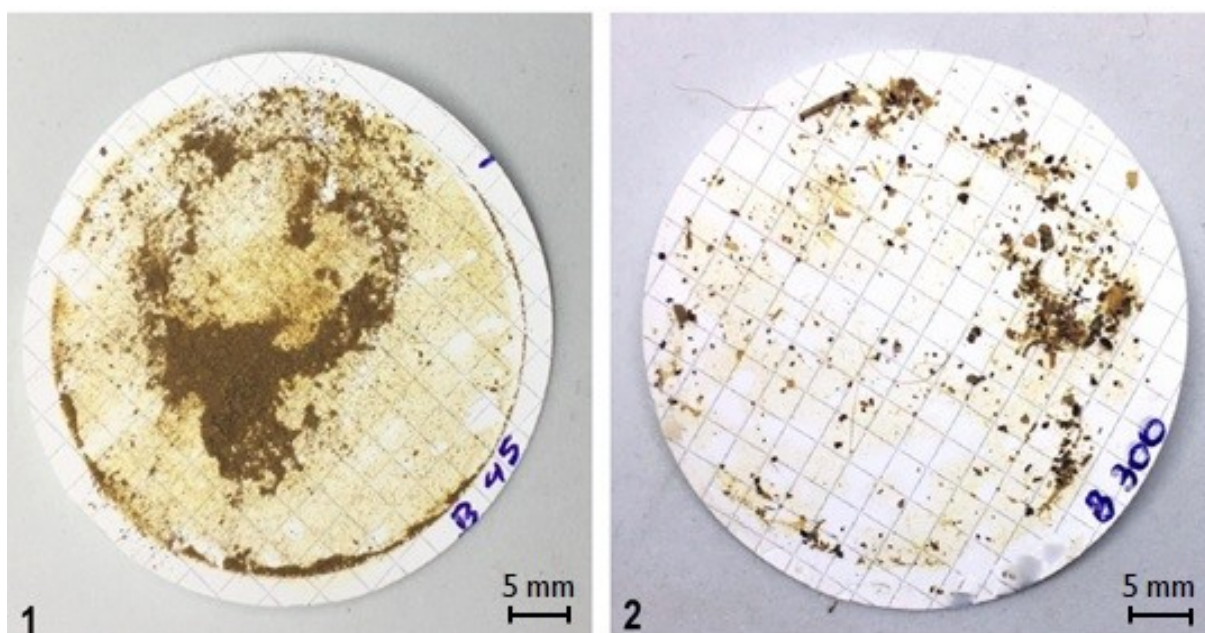


Figura 11: Amostras, 1)B45 e 2)B300, após passar por oxidação e separação por densidade

Para as amostras Sa300 e M300 onde os microplásticos ficaram bem aparentes, após a caracterização visual, foram obtidos materiais plásticos com coloração preta, azul, amarela, rosa e branca. (Figura 12)

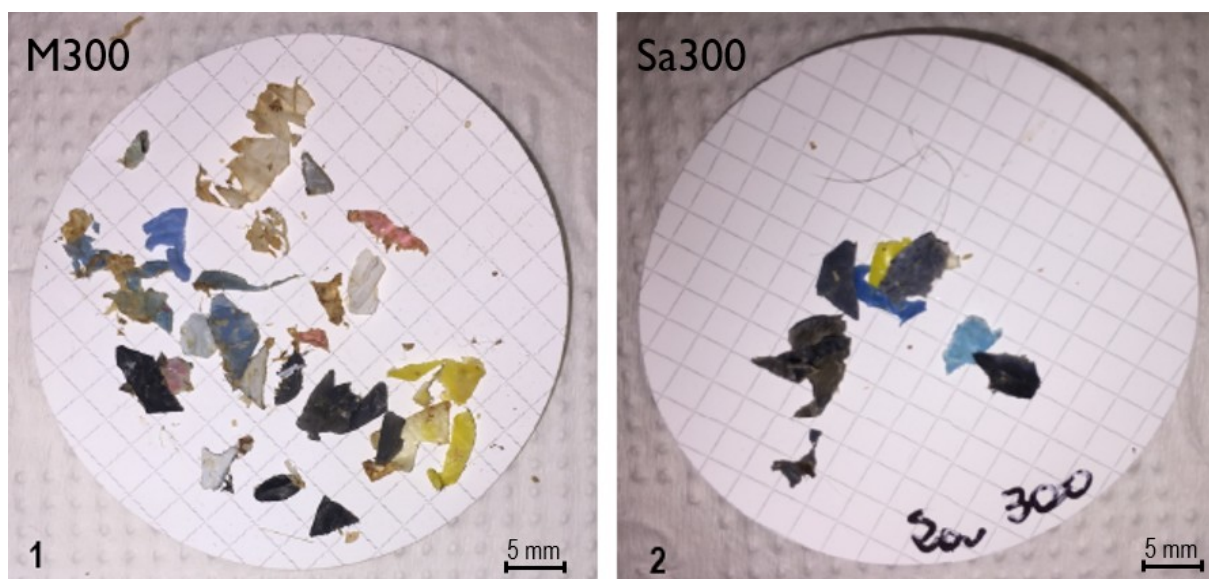


Figura 12: Microplásticos selecionados durante caracterização visual para: 1) M300 e 2) Sa300

Analisando as amostras depositadas sobre as membranas, foi possível ver que não houve relação direta entre a quantidade de microplásticos e o volume de esgoto. As amostras com maior volume foram das ETEs Sul e Riacho Fundo, e nestas não foi possível visualizar fragmentos plásticos durante a análise visual. Já as de Samambaia e Melchior, que tinham, aproximadamente, metade do volume das anteriores, apresentaram uma grande quantidade de microplásticos, em diferentes cores e tamanhos.

Essa diferença em termos quantitativos pode estar relacionada aos pré-tratamentos de cada estação. É possível que nas estações, onde não foi possível identificar microplásticos de granulometria maior, esses tratamentos sejam mais eficientes.

É interessante observar que as duas ETEs, Samambaia e Melchior, segundo o site da Caesb²⁴, estão localizadas no mesmo endereço. Ambas atendem a região de Samambaia, porém ETE Melchior atende, também, outras cidades. Como atendem áreas próximas pode ser que isso tenha influência direta nos resultados obtidos, podendo ser questões sociais, ou pelas características das tubulações coletoras.

5.1.1 CARATERIZAÇÃO POR MICROSCOPIA

Com os materiais obtidos separados nos filtros, estes foram levados para análise microscópica com objetiva de 4X.

Inicialmente foi feita uma análise direta dos microplásticos triados das amostras M300 e Sa300, para poder ter uma base das características morfológicas esperadas. Devido as irregularidades das superfícies só foi possível focar em pequenas áreas de cada material. Nas Figuras 13 e 14 são apresentadas algumas das imagens obtidas.

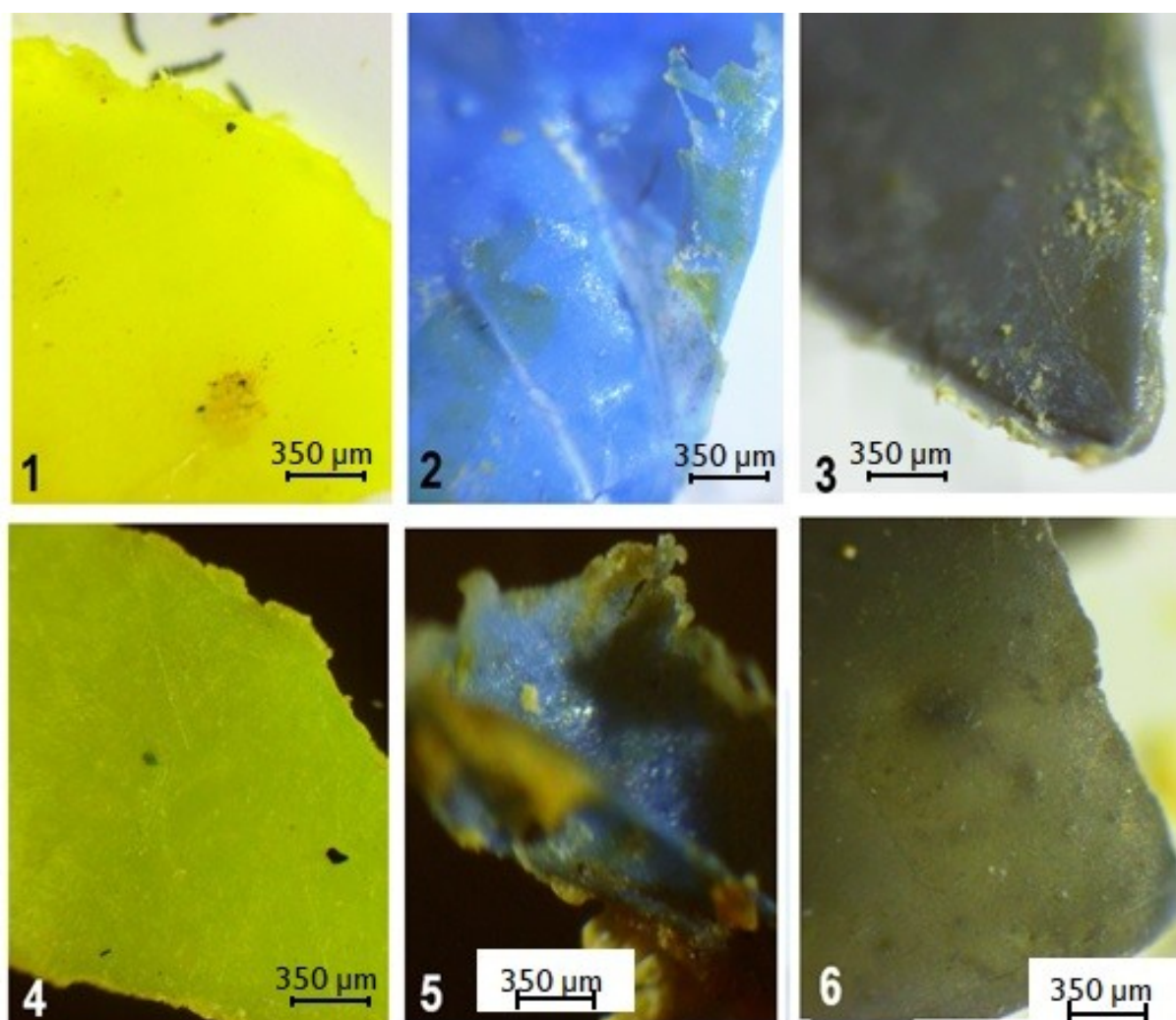


Figura 13: Superfícies de microplásticos de: 1-3) Sa300 e 4-6) M300

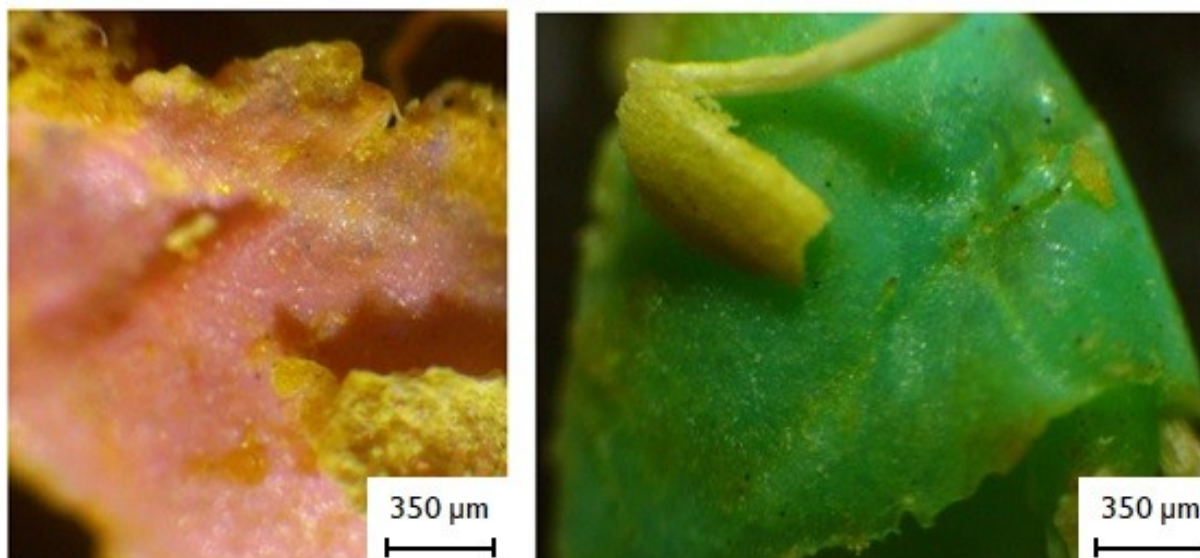


Figura 14: Microscopia com objetiva de 4X, para microplásticos encontrados em M300

Nas outras amostras foi feita uma varredura no filtro, também com a objetiva de 4X, e tentou-se identificar possíveis materiais plásticos. Como as dimensões eram muito menores usou-se a objetiva de 10X para poder ter uma melhor visão das superfícies, auxiliando em comparações mais precisas com o material já analisado.

As amostras retidas nas peneiras de menor malha (45 µm) apresentaram uma maior dificuldade na visualização de possíveis microplásticos, e que deixavam uma dúvida sobre natureza do material. As amostras formam aglomerados, onde é possível visualizar fragmentos (Figura 15) e filamentos (Figura 16) coloridos. Mesmo com as sobreposições existentes, pode-se identificar os filamentos como material plástico.

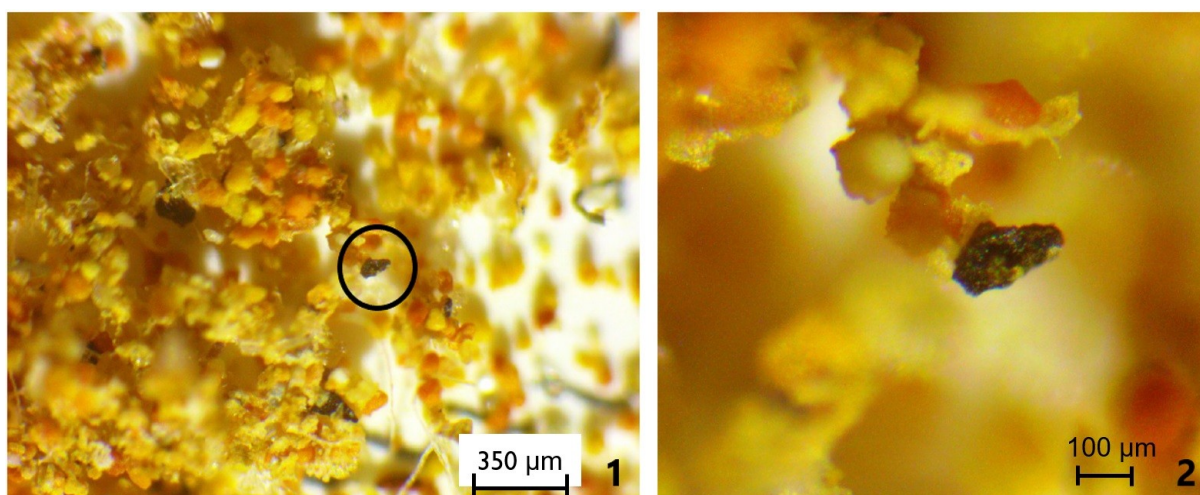


Figura 15: Microscopia de um possível microplástico na amostra F45. 1) objetiva de 4x; 2) objetiva de 10x

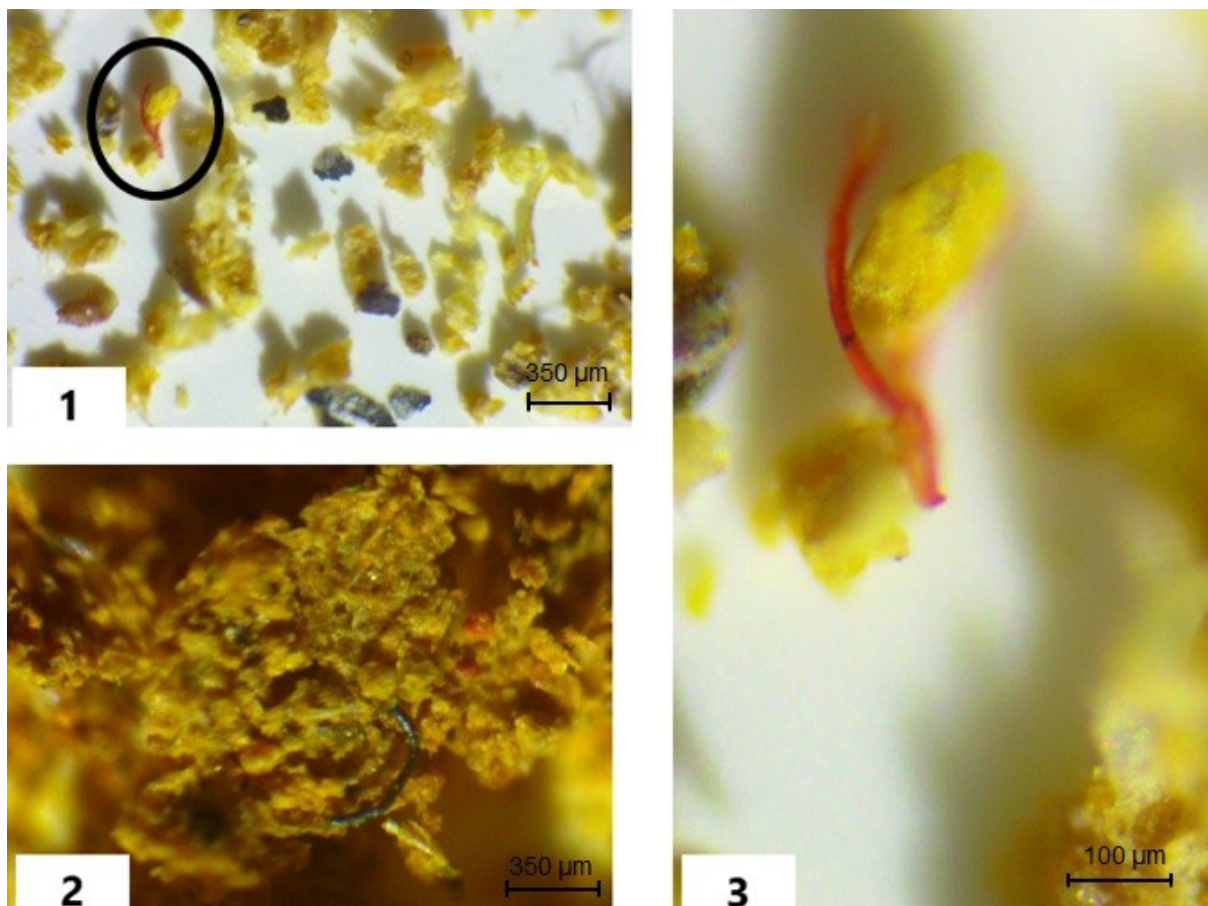


Figura 16: Filamentos encontrados nas amostras: 1 e 3) F45, objetiva de 4X e 10X, respectivamente; 2) B45, objetiva de 4x

Nas granulometrias 90,150 e 300 µm foi possível encontrar poucos materiais plásticos, apesar de haver menos aglomerados. Devido a coloração amarelada adquirida, durante a varredura, plásticos de coloração neutra são muitas vezes não observados ou passam a impressão de não serem o alvo da procura. Assim, fragmentos coloridos acabaram sendo o foco na busca. Na Figura 17 são apresentados alguns dos selecionados, sob o aumento da objetiva de 10X.

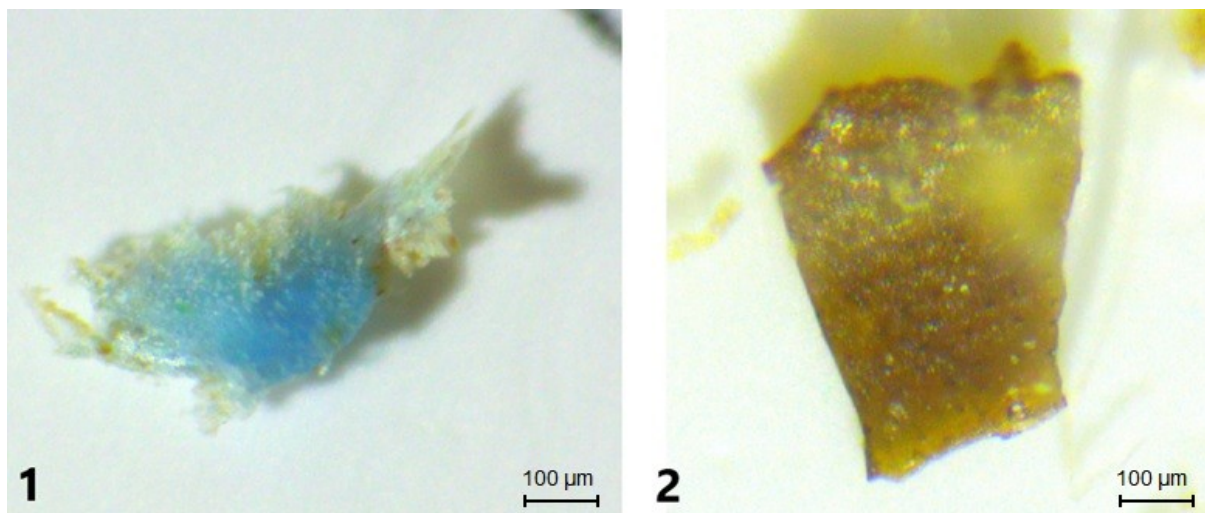


Figura 17: Microplásticos encontrados nas amostras: 1) RF300; 2) M150

Quase em todas as amostras, nas diferentes granulometrias, sempre é possível ver muitas fibras, comumente na cor azul, e alguns casos pretas, vermelhas e incolores. Estas podem estar relacionadas com os processos de lavagem de roupas, sendo consideradas microplásticos primários. Durante a limpeza, por estresses mecânico e químico, as fibras podem se desprender dos tecidos e ir parar nas ETEs. Na Figura 18 podem ser observadas algumas das diferentes microfibras encontradas.¹⁶

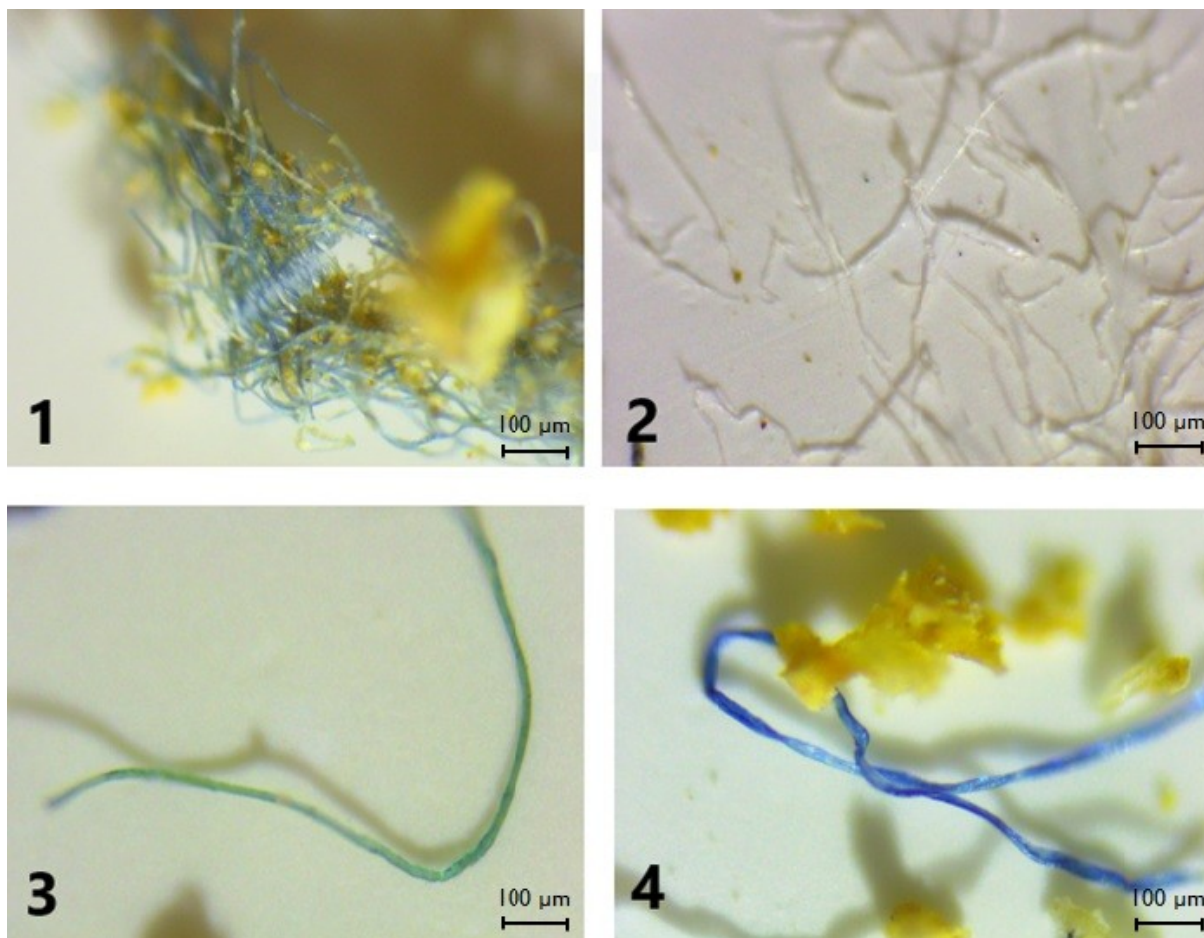


Figura 18: Microfibras encontradas nas amostras: 1) Su300; 2) RF150; 3) RF300; 4) F90

Com o auxílio da microscopia é possível visualizar detalhes como a borda dos microplásticos e sua superfície. O que se observa são pontas pontiagudas, que podem significar materiais com fragmentação recente, que pode ter sido causada durante o percurso até as ETEs ou durante as etapas de pré-tratamentos. Nas superfícies são visíveis as mudanças na coloração, que podem ser causadas por reações químicas, incrustações e muito material adsorvido. Assim, pode-se acreditar que poluentes, hidróxido de ferro(formado na etapa de remoção da matéria orgânica) e até micro-organismos podem estar aderidos nas superfícies dos microplásticos¹⁰. Tais características são vistas nas Figuras 13-2, 13-3, 13-5, 17-1 e 19.

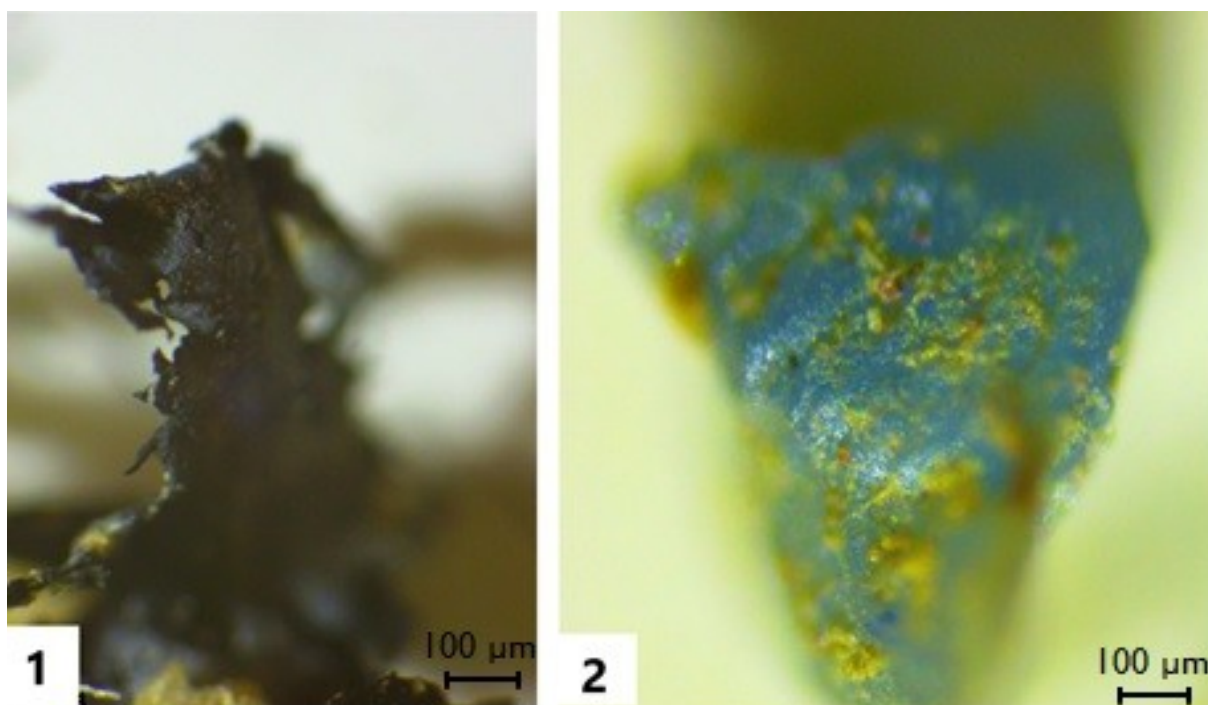


Figura 19: Microplásticos com pontas pontiagudas e com incrustações. 1) Su300; 2) AL300

5.1.2 ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO NO INFRAVERMELHO COM ATR

Tendo fragmentos de plásticos como amostras, para realizar a análise de FT-IR foi utilizada a técnica de ATR, usada para casos onde os materiais estão no estado sólido, líquido ou filme. A vantagem dessa é não ser destrutiva.

Foi realizada a análise para os padrões (Figura 8), e para os microplásticos selecionados na etapa de microscopia. Os fragmentos analisados foram das amostras Su300, RF300, M300 e Sa300. Para os dois últimos foi feita uma seleção de uma partícula de cada cor para representar o restante da amostra.

Os espectros obtidos das amostras e das referências são apresentados nos anexos.

Analisando os espectros das amostras, foi possível observar que haviam dois picos, próximos a 3000 cm^{-1} , em todos eles, diferenciando apenas pelas intensidades. Para M300 e Sa300 os picos eram mais intensos e, menos intensos para as de Su300 e RF300. Assim, era possível inferir que os microplásticos

analisados seriam fragmentos de polímeros de plásticos composto do mesmo polímero.

Comparados aos espectros obtidos com os das referências, ficaram com os picos muito próximo com os de PEAD e PEBD, principalmente os dois picos próximos a 3000 cm^{-1} , indicando que o possível monômero base seria o etileno.

Para os dois tipos de polietileno os espectros não possuem muita diferença entre si, pois a estrutura química é praticamente a mesma. O que diferencia os dois é o mecanismo de polimerização. O PEAD formado possui estrutura linear e alta cristalinidade, enquanto o PEBD tem estrutura mais ramificada e é parcialmente cristalino.¹⁷

Na Figura 20 são apresentados os espectros para o PEAD e o PEBD, onde é possível ver suas bandas características: na região entre $3000 - 2840\text{ cm}^{-1}$ do estiramento da ligação C-H alifáticos, $1500-1430\text{ cm}^{-1}$ da deformação angular de $-(\text{CH}_2)_n-$ e deformação angular de cadeia, para $n>3$, da ligação C-H por volta de 720 cm^{-1} .^{18,19}

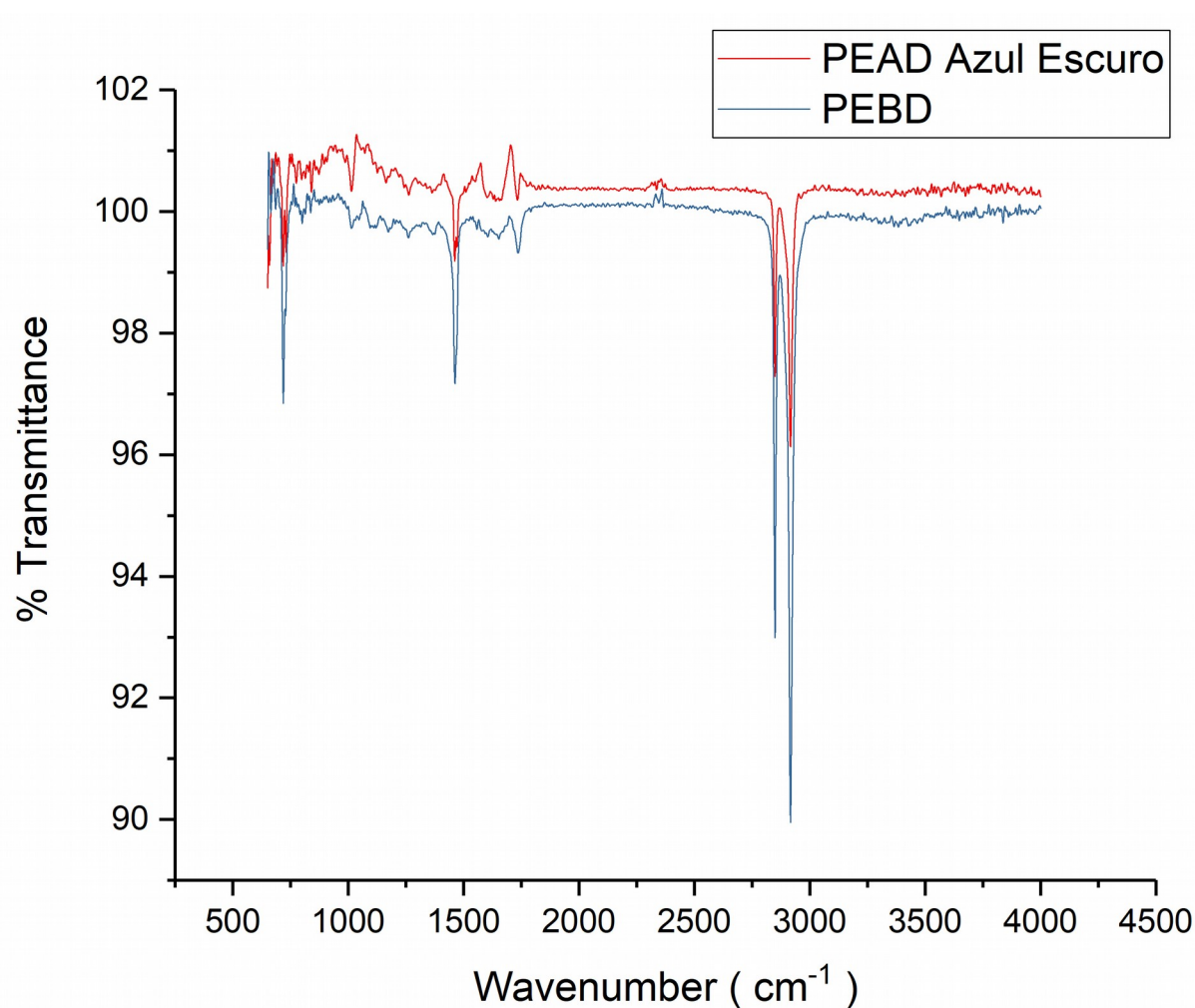


Figura 20: Comparação entre os espectros de FT-IR das referências PEAD azul escuro e PEBD

Assim, foi feita uma sobreposição dos espectros das amostras com PEAD ou PEBD, os resultados são apresentados nas Figuras 21, 22, 23 e 24. Para as amostras de M300 e Sa300 foi escolhida apenas um fragmento para a comparação.

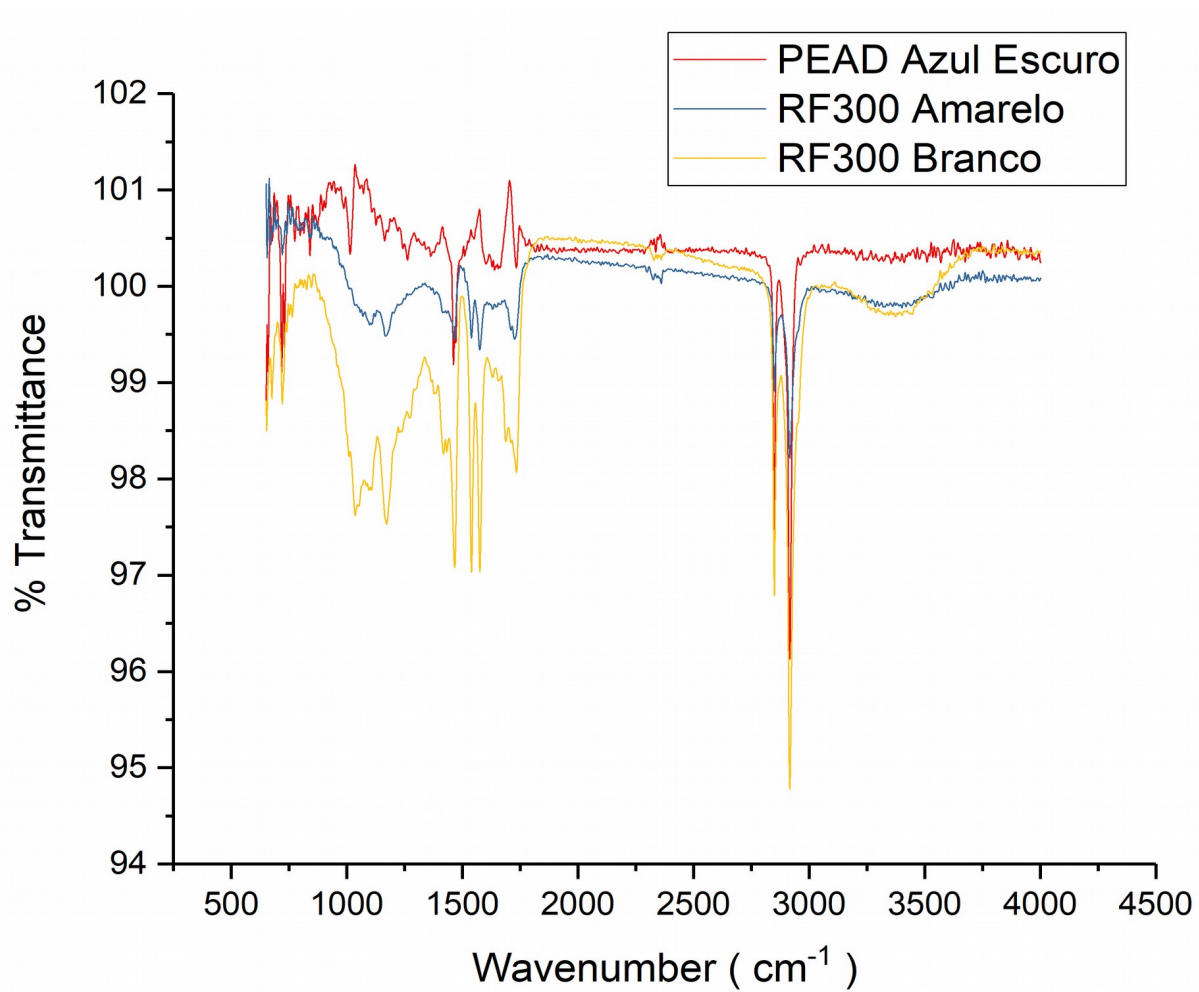


Figura 21: Espectro FT-IR das amostras RF300 e a referência PEAD azul escuro

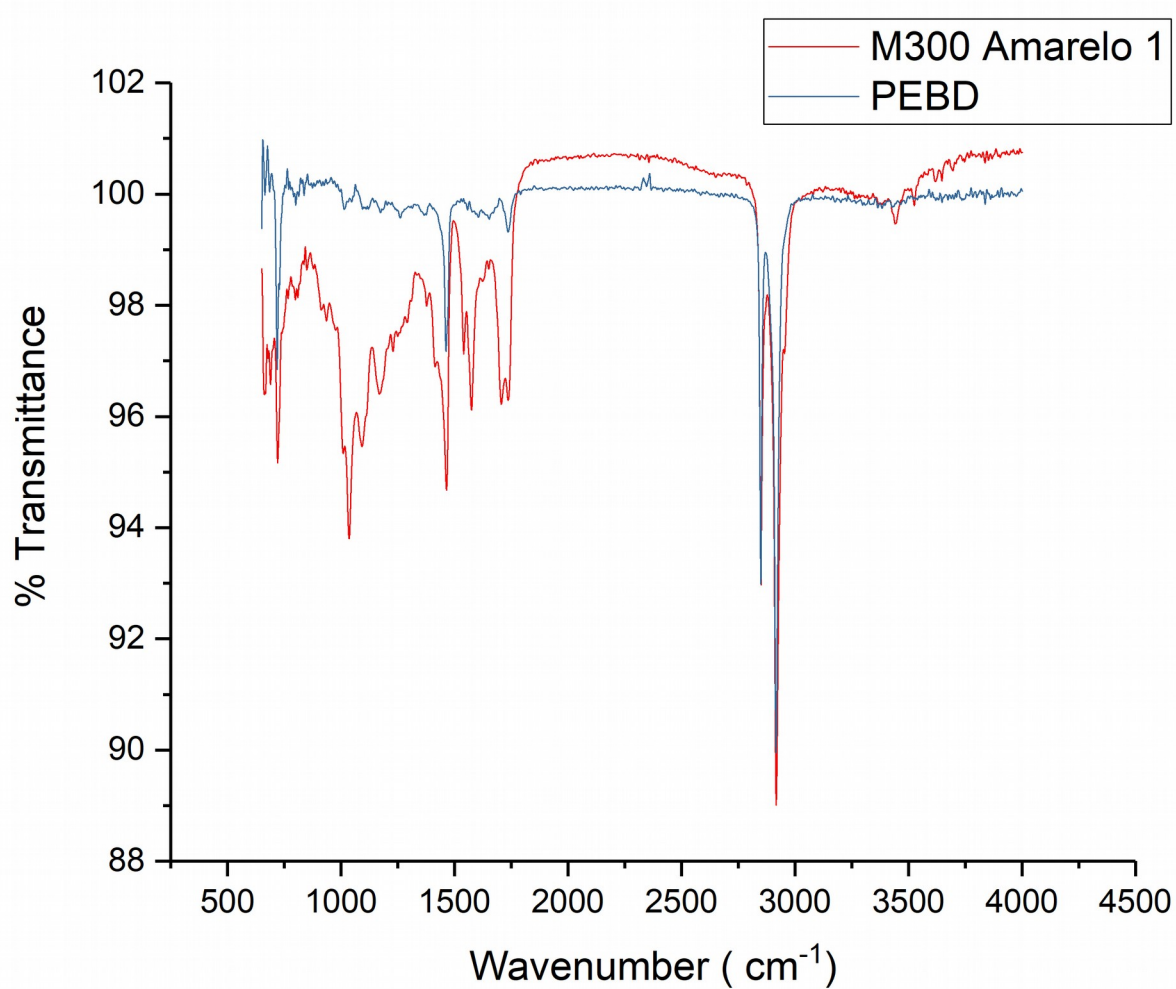


Figura 22: Espectro FT-IR da amostra M300 e a referência PEBD

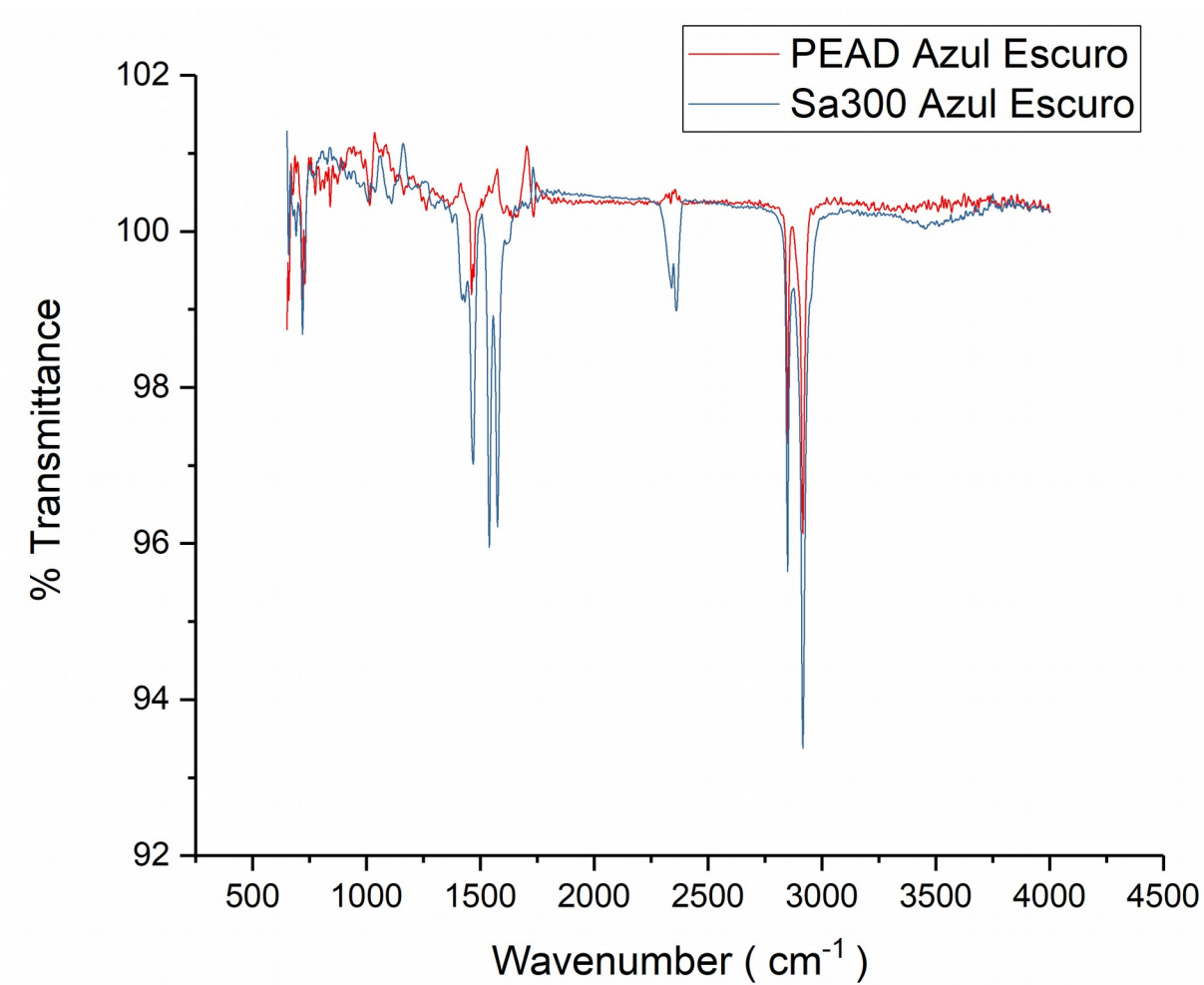


Figura 23: Espectro da amostra Sa300 e a referência PEAD azul escuro

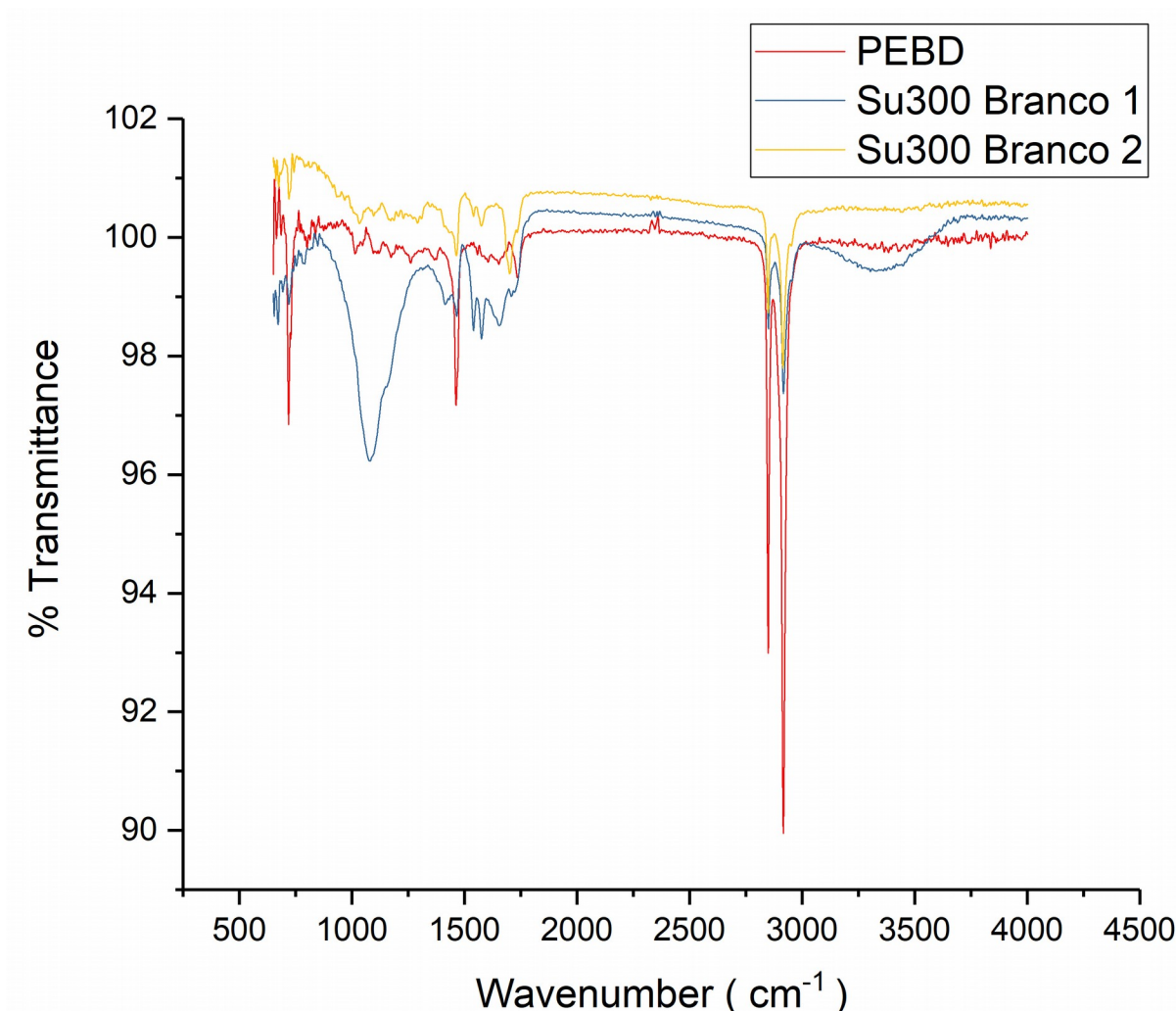


Figura 24: Espectro FT-IR das amostras Su300 e a referência PEBD

Analizando os espectros é possível observar algumas bandas que diferem dos presentes nas referências, próximas a 1000 e 1700 cm⁻¹. Bandas como essas também foram encontradas por Olivatto¹⁰ e Alonso¹⁹, e possíveis justificativas são: possíveis modificações feitas pelo fabricante (uso de aditivos químicos), adsorção de compostos orgânicos, degradações por oxidação pelo oxigênio atmosférico, por fotodregadação, e até pela união desses diversos fatores. Como apresentado na Figura 18, algumas das incrustações vistas sobre as superfícies dos microplásticos, podem estar relacionadas com o aparecimento de bandas que não são típicas do polímero.^{10,20}

6 CONCLUSÃO

Microplásticos são fragmentos de plásticos com dimensões menores que 5 mm. Essas partículas necessitam de uma grande atenção nas áreas de pesquisas, pois, devido ao seu tamanho, tem alcançado diferentes compartimentos ambientais, com uma acumulação gradual.

No presente estudo as amostras de esgoto doméstico foram filtradas e passaram por um pré-tratamento, seguindo o método descrito pela NOAA em 2015, para fazer a identificação de microplásticos. O material obtido foi analisado usando microscopia e espectrometria de infravermelho, e foi possível comprovar a existência de microplásticos em todas as amostras. As estações Melchior e Samambaia foram as que apresentaram fragmentos de maiores dimensões. Com o auxílio da microscopia foi possível identificar microplásticos de diferentes cores e formatos. Observou-se que podem possuir bordas pontiagudas que indicam fragmentação recente, e a existência de incrustações. Já com a análise por FT-IR, foi possível analisar os microplásticos encontrados e plásticos de referência, que comparados, indicaram que os fragmentos das amostras podem ser classificados como PE.

Através do método usado foi possível observar que é difícil quantificar e qualificar microplásticos nas amostras, devido à complexidade dessas, havendo necessidade de maior eliminação de partículas não plásticas. Isso pode ser realizado melhorando o tratamento das amostras, baseando-se nas características dos polímeros. Seria interessante estudos sobre a etapa de degradação da matéria orgânica, buscar uma melhor eficiência, evitando a formação de hidróxido de ferro, ou o uso de outras reações.

É interessante realizar estudos sobre presença dos fragmentos nos efluentes finais das ETE's. Sendo relevante avaliar a capacidade de retenção de tais contaminantes, devido os grandes volumes de efluentes descarregados no meio ambiente, possibilitando desenvolver novos métodos de tratamento, e implementar regras e regulamentos no futuro.

Realizar amostras em outras estações, observar os diferentes tipos de tratamentos preliminares e melhores análises dos espectros são possíveis perspectivas.

7 BIBLIOGRAFIA

1. Lokensgard, E. (2013). *Plásticos industriais: teoria e aplicações*. (P. La Rosa, M. Gomes, & F. A. Albuquerque, Eds.) (5th ed.). São Paulo: Cengage Learning.
2. Piatti, T. M., & Rodrigues, R. A. F. (2005). *Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais*. (S. D. M. (Presidente), C. P. de O. Carvalho, M. do S. A. de O. Cavalcante, R. S. Lima, I. M. de M. Lima, L. M. de Araújo, ... C. C. E. Oliveira, Eds.), *Série: Conversando sobre ciências em alagoas* (1st ed.). Maceió: Edufal - Editora da Universidade Federal de Alagoas Campus A. C. Simões. Retrieved from http://www.usinaciencia.ufal.br/multimidia/livros-digitais-cadernos-tematicos/Plasticos_caracteristicas_usos_producao_e_impactos_ambientais.pdf
3. Cangemi, M. J., Santos, A. M. dos, & Claro Neto, S. (2005). Biodegradação: Uma Alternativa para Minimizar os Impactos Decorrentes dos Resíduos Plásticos. *Química Nova Na Escola*, 22 (Figura 1), 17–21. Retrieved from <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc22/a03.pdf>
4. Nunes, E. de C. D., & Lopes, F. R. S. (2014). *Polímeros: conceitos, estrutura molecular, classificação e propriedades*. (R. A. da Silva, Ed.) (1st ed.). São Paulo: Editora Érica Ltda.
5. ABIPLAST. (2017). Perfil 2018. Retrieved November 20, 2019, from http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/10/perfil2018-web_VC.pdf
6. PLASTIVIDA. (n.d.). Os plásticos. Retrieved November 20, 2019, from <http://www.plastivida.org.br/index.php/conhecimento/35-os-plasticos?lang=pt>
7. Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Arthur, C. (2015). *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*. (T. Memorandum, Ed.) (1st ed.). USA: National Oceanic and Atmospheric Administration. Retrieved from https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/noaa_microplastics_methods_manual.pdf

8. Arthur, C., Baker, J., & Bamford, H. (2009). *Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence , Effects , and Fate of Microplastic Marine Debris* (1st ed.). Tacoma: National Oceanic and Atmospheric Administration. Retrieved from <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/2509>
9. Arthur, C., & Baker, J. (2012). *Proceedings of the Second Research Workshop on Microplastic Marine Debris* (1st ed.). Tacoma: National Oceanic and Atmospheric Administration.
10. Olivatto, G. P. (2017). *Estudo sobre Microplásticos em águas superficiais na porção oeste da Baía de Guanabara*. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. <https://doi.org/10.17771/PUCRio.acad.29926>
11. Olivatto, G. P., Carreira, R., Tornisielo, V. L., & Montagner, C. C. (2018). Microplastics: Contaminants of global concern in the Anthropocene. *Revista Virtual de Química*, 10(6), 1968–1989. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180125>
12. Manzano, A. B. (2009). *Distribuição, taxa de entrada, composição química e identificação de fontes de grânulos plásticos na Enseada de Santos, SP, Brasil*. Universidade de São Paulo. Retrieved from http://www.globalgarbage.org/dissertacao_aruana_bittencourt_manzano.pdf
13. Nogueira, R. F. P., Trovó, A. G., Silva, R. A., & Villa, R. V. (2007). Fundamentos e aplicações ambientais dos processos fenton e foto-fenton. *Química Nova*, 30(2), 400–408. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200030>
14. Skoronski, E., Ferrari, A., Fernandes, M., Ely, C., & Jair Juarez João. (2015). Desempenho de um reator Fenton em escala industrial aplicado à remoção de fenóis em uma planta de recuperação de resíduos da indústria de papel e celulose. *Revista Ambiente & Água*, 10(4), 863–873. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1638>
15. Villa, R. D., Apolinário, M. R., & Nogueira, R. F. P. (2007). Potencial de aplicação do processo foto-fenton/solar como pré-tratamento de efluente da

- indústria de laticínios. *Química Nova*, 30(8), 1799–1803. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000800002>
16. Falco, F. De, Pace, E. Di, Cocca, M., & Avella, M. (2019). The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution. *Scientific Reports*, (March), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43023-x>
 17. Coutinho, F. M. B., Mello, I. L., & Maria, L. C. D. S. (2003). Polietileno : Principais Tipos , Propriedades e Aplicações. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 13(1), 1–13. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282003000100005>
 18. Lopes, W. A., & Fascio, M. (2004). Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. *Química Nova*, 27(4), 670–673. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000400025>
 19. Alonso, A. L. F. (2014). *Avaliação de microplásticos em praias da Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, RJ, Brasil*. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
 20. Becerra, A. F. C. (2015). *Caracterização de PEAD Antes e Após Envelhecimento em Diferentes Meios e Condições*. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. <https://doi.org/10.17771/PUCRio.acad.26152>
 21. Hamilton, A., Scheer, R., Stakes, T., & Allan, S. (2019). *Solucionar a poluição plástica: transparência e responsabilização*. Suíça: WWF - Fundo Mundial para a Natureza.
 22. Mason, S. A., Welch, V. G., & Neratko, J. (2018). Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water. *Frontiers in Chemistry*, 6(September), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00407>
 23. CAESB. (n.d.). Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Retrieved November 26, 2019, from <https://www.caesb.df.gov.br/>

8 ANEXOS

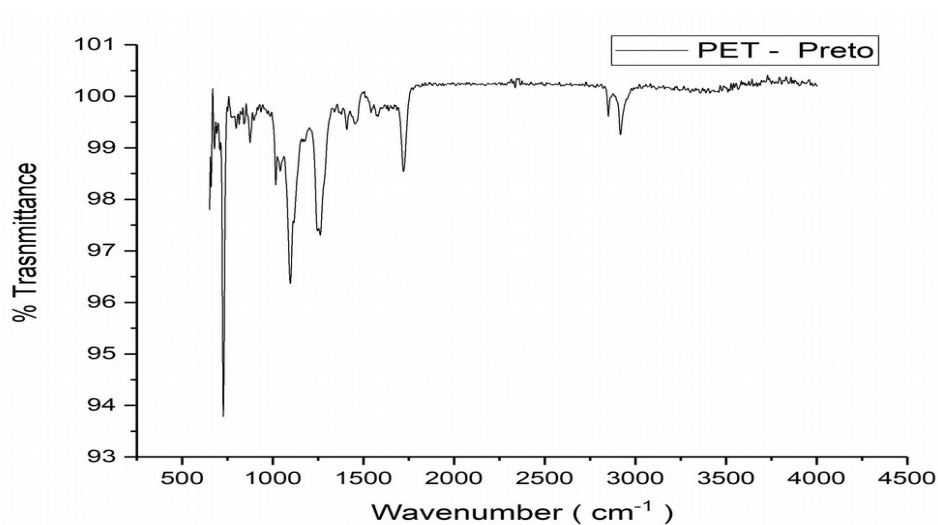


Figura 25: Espectro FT-IR da referência PET Preto

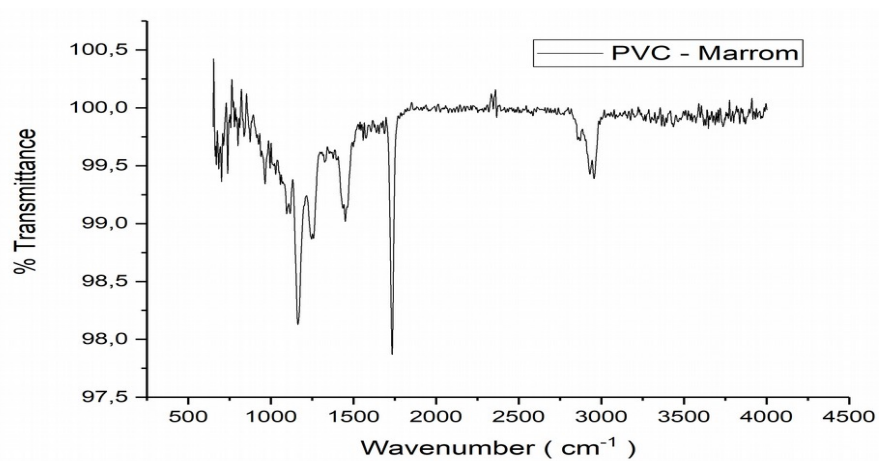


Figura 26: Espectro FT-IR da referência PVC Marrom

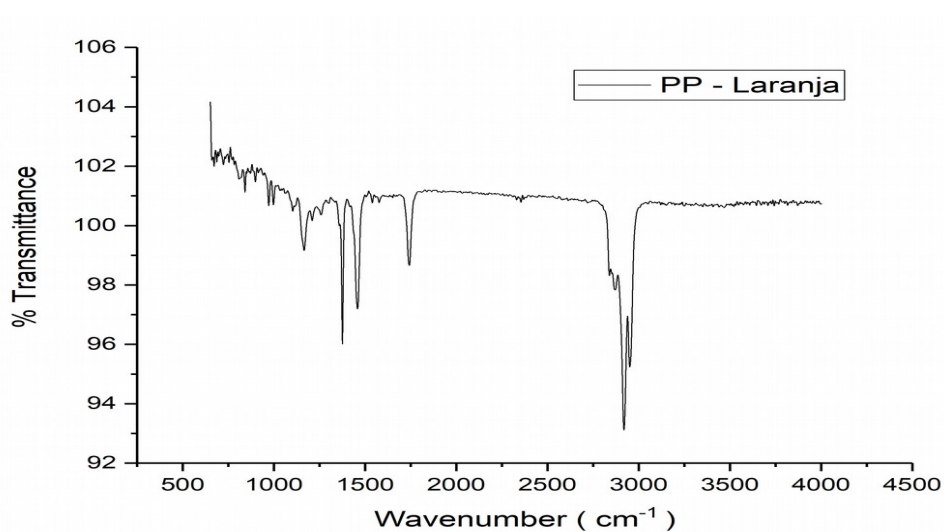


Figura 27: Espectro FT-IR da referência PP Laranja

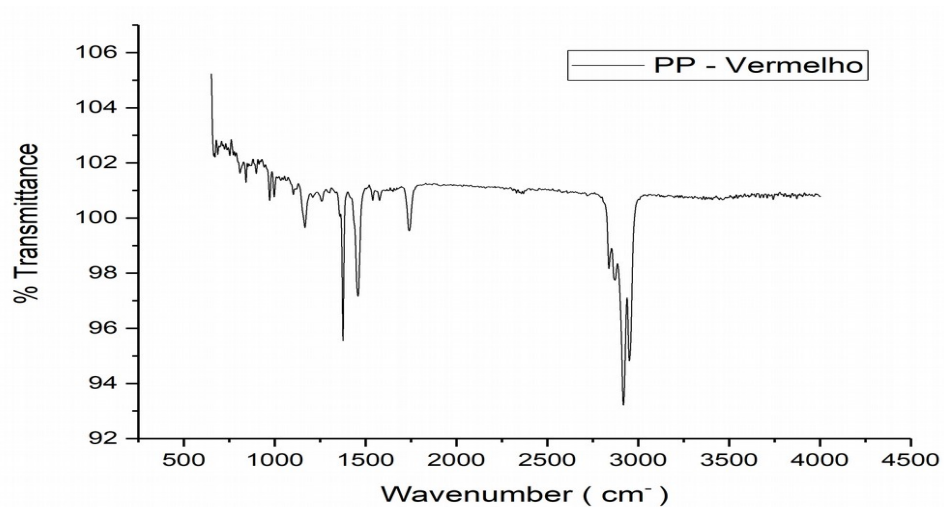


Figura 28: Espectro FT-IR da referência PP Vermelho

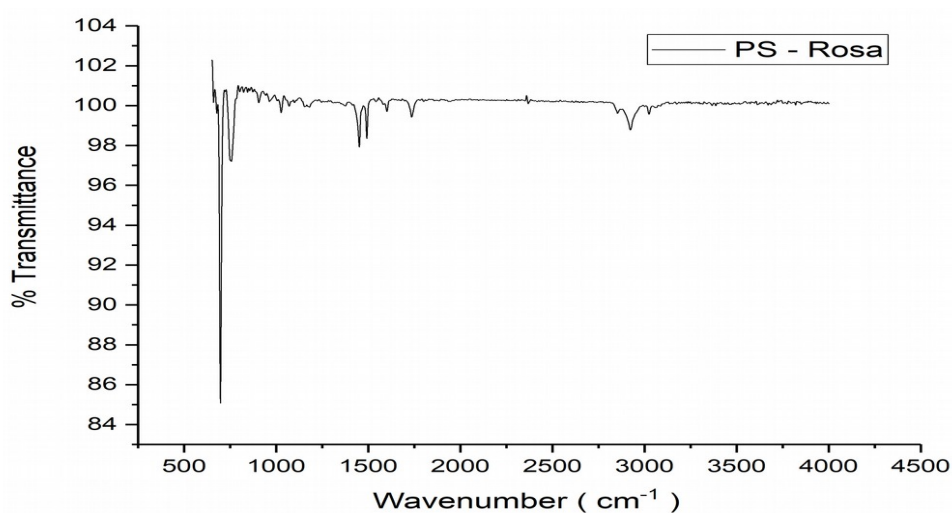


Figura 29: Espectro FT-IR da referência PP Rosa

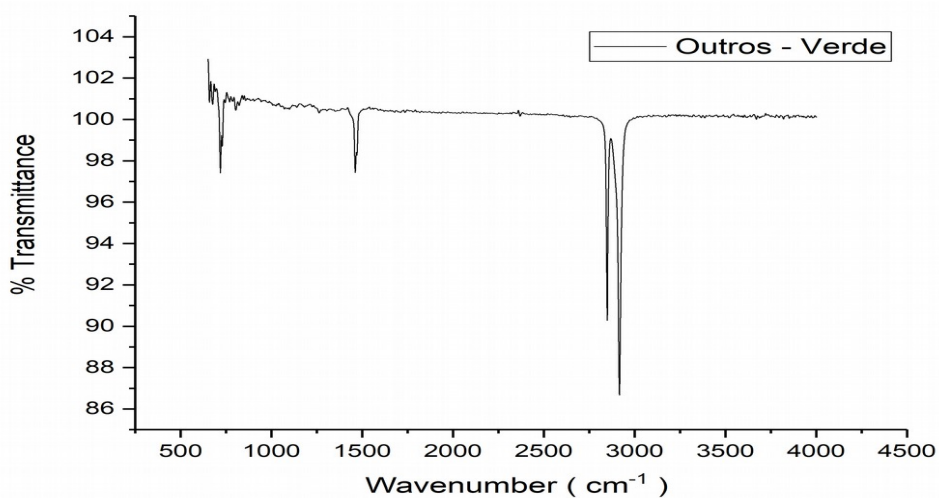


Figura 30: Espectro FT-IR da referência Outros Verde

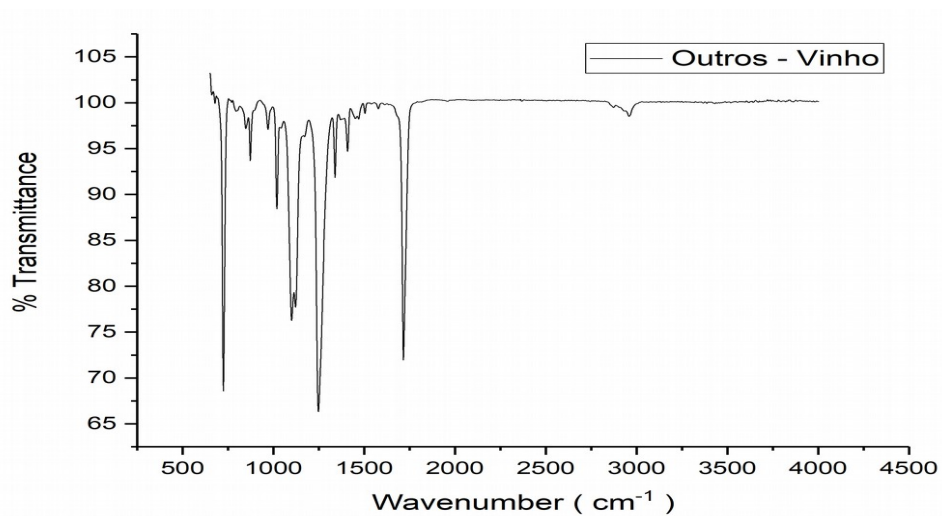


Figura 31: Espectro FT-IR da referência Outros Vinho

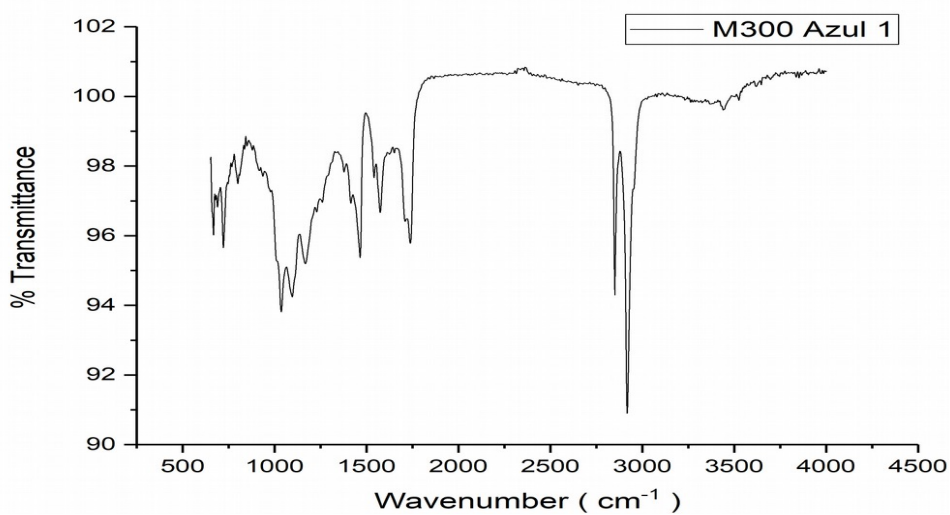


Figura 32: Espectro FT-IR da amostra M300 Azul 1

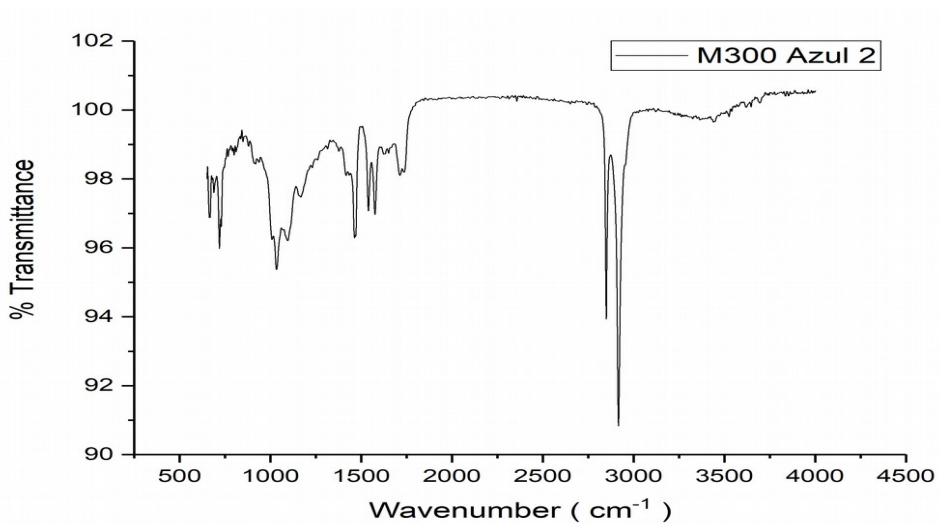


Figura 33: Espectro FT-IR da amostra M300 Azul 2

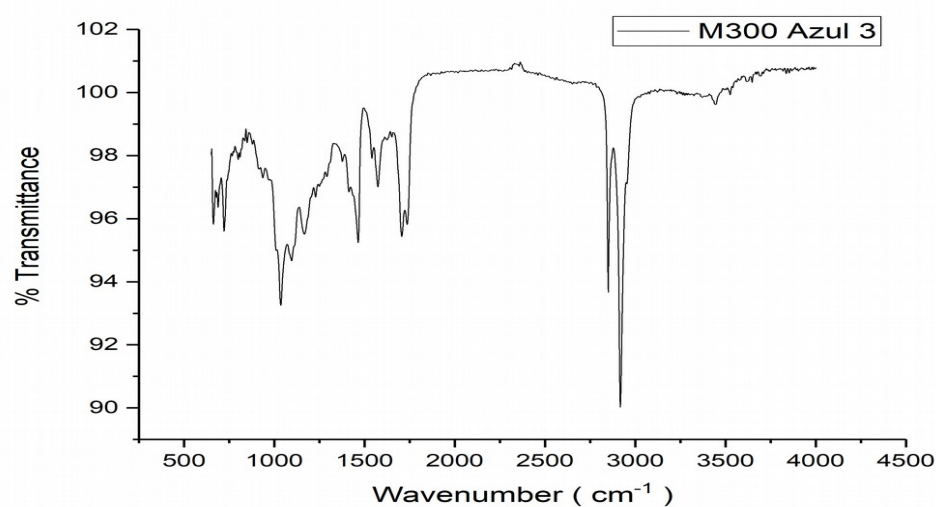


Figura 34: Espectro FT-IR da amostra M300 Azul 3

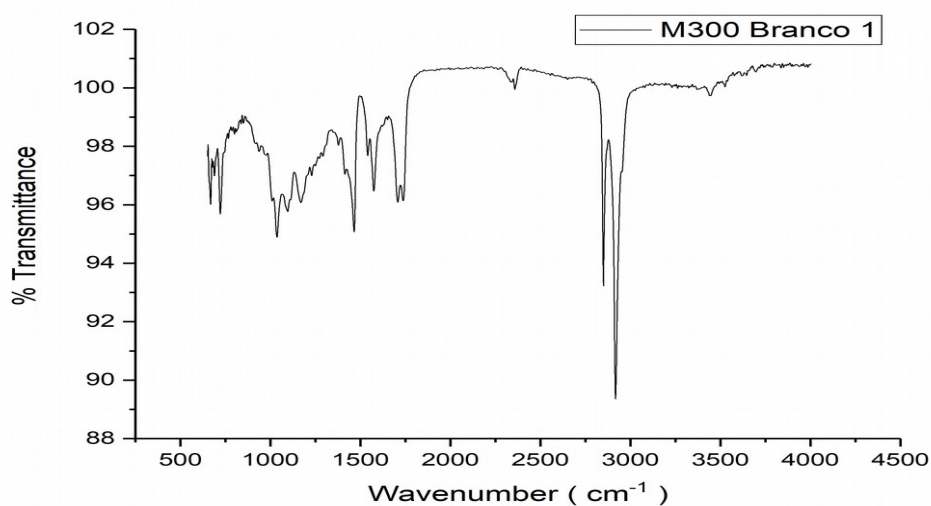


Figura 35: Espectro FT-IR da amostra M300 Branco 1

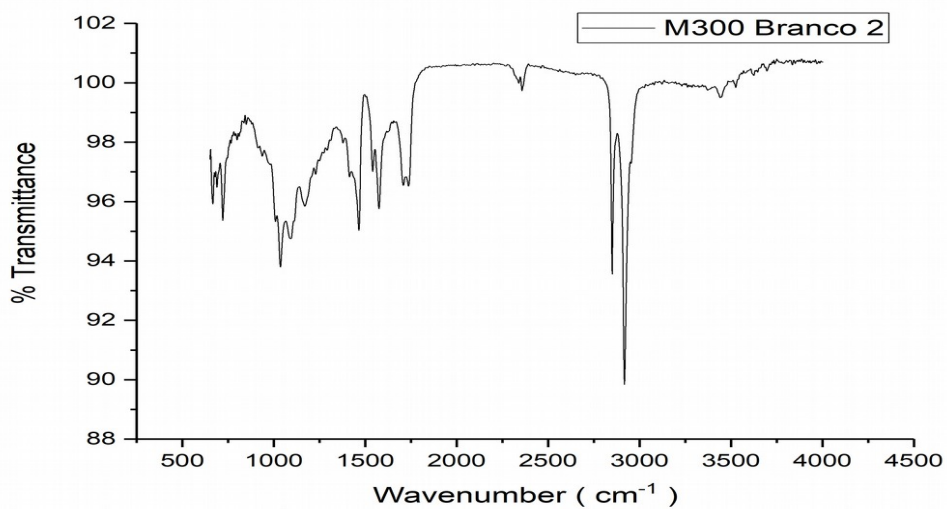


Figura 36: Espectro FT-IR da amostra M300 Branco 2

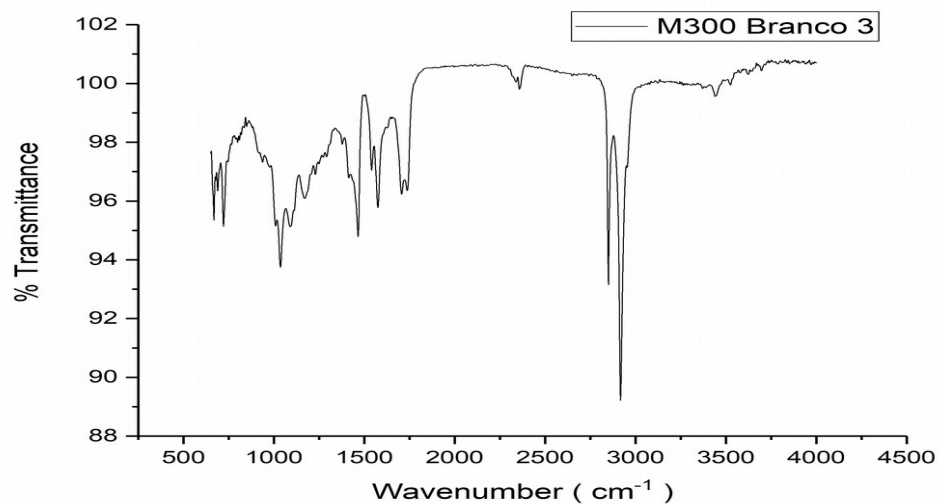


Figura 37: Espectro FT-IR da amostra M300 Branco 3

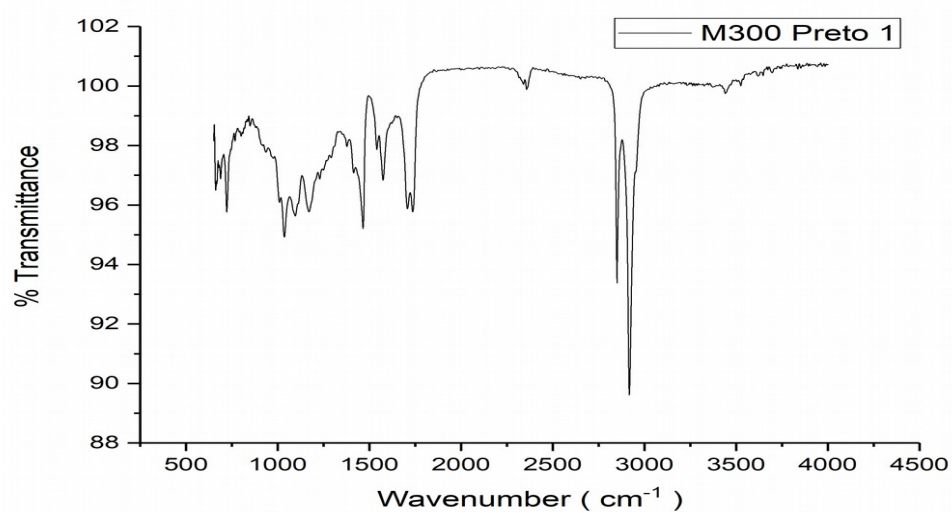


Figura 38: Espectro FT-IR da amostra M300 Preto 1

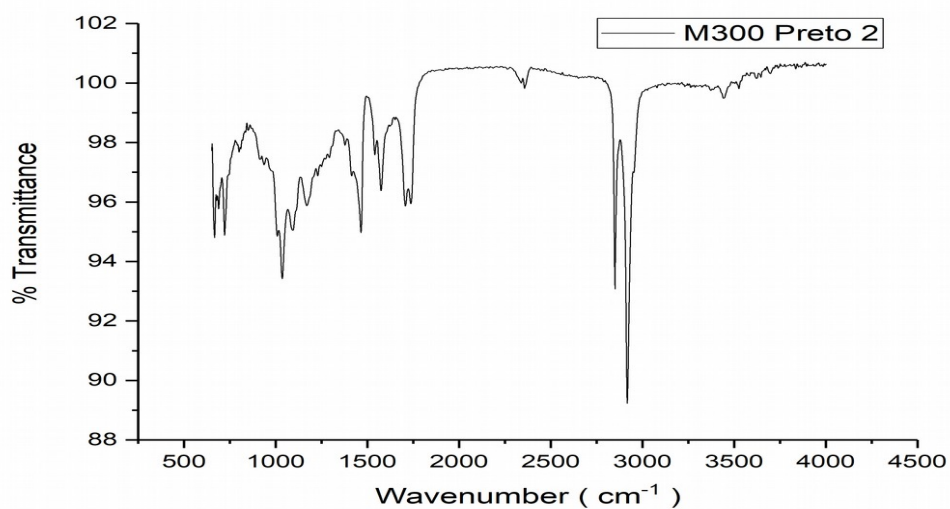


Figura 39: Espectro FT-IR da amostra M300 Preto 2

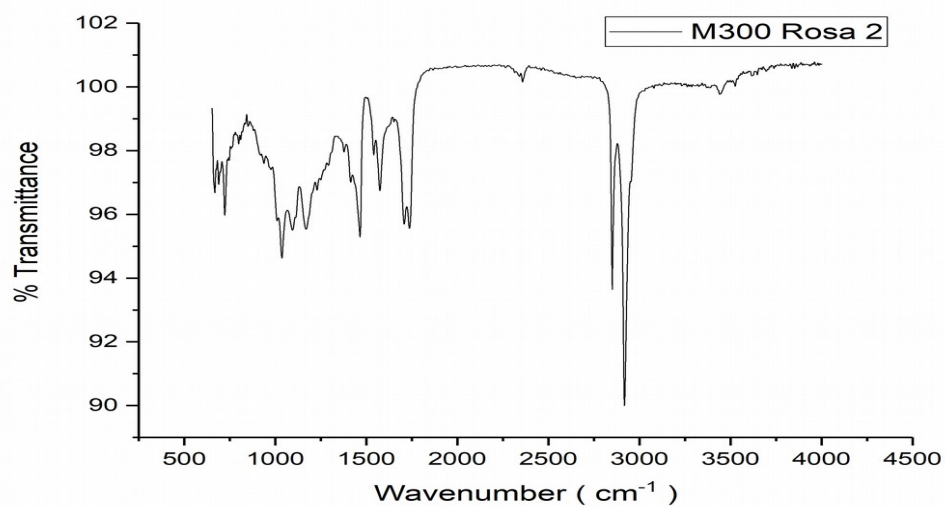


Figura 40: Espectro FT-IR da amostra M300 Rosa

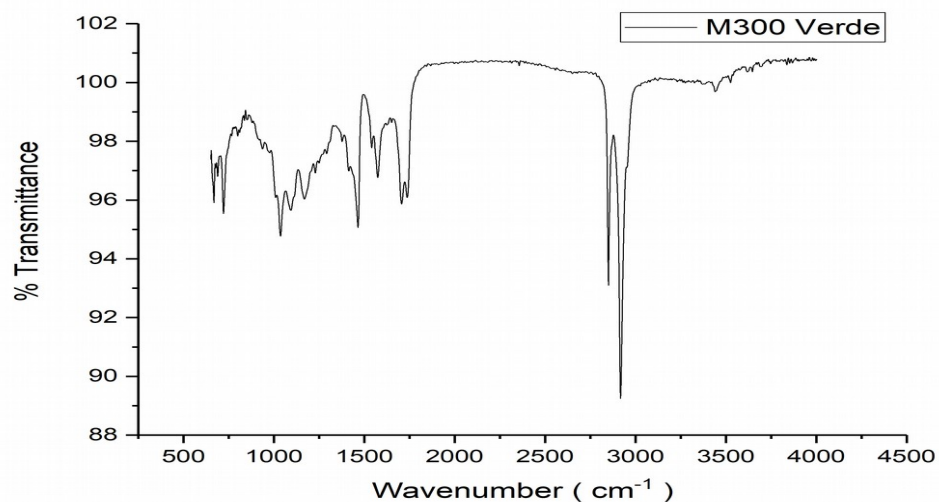


Figura 41: Espectro FT-IR da amostra M300 Verde

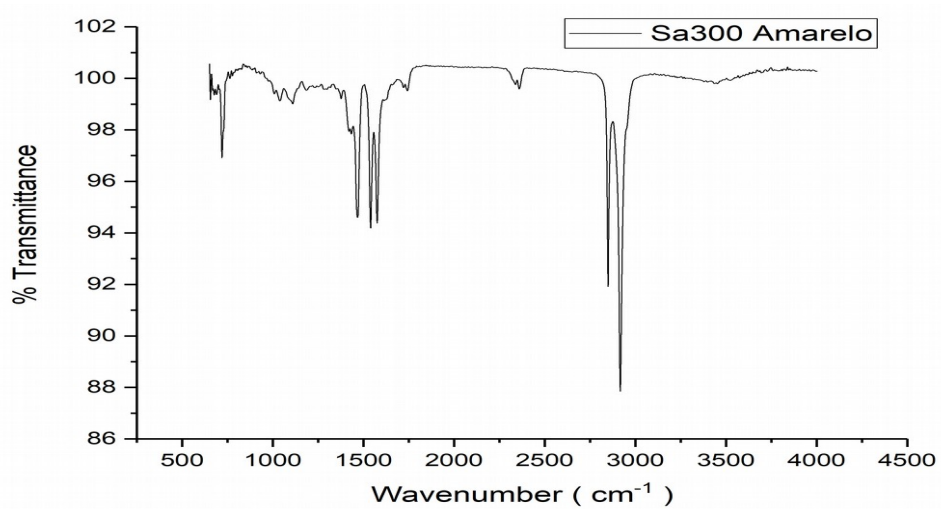


Figura 42: Espectro FT-IR da amostra Sa300 Amarelo

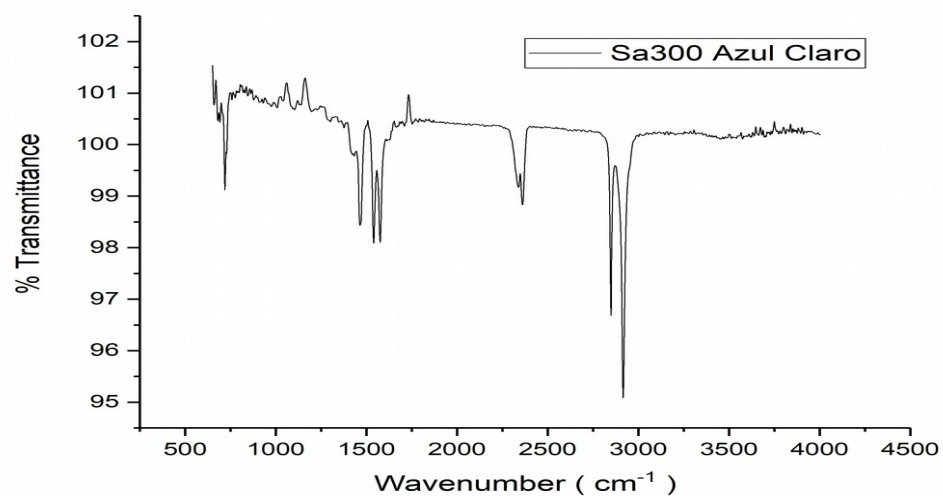


Figura 43: Espectro FT-IR da amostra Sa300 Azul claro

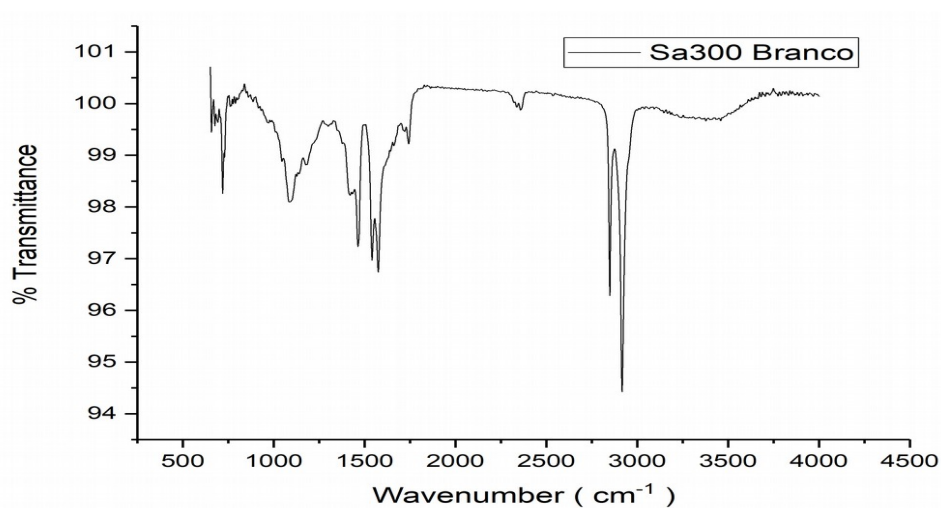


Figura 44: Espectro FT-IR da amostra Sa300 Branco

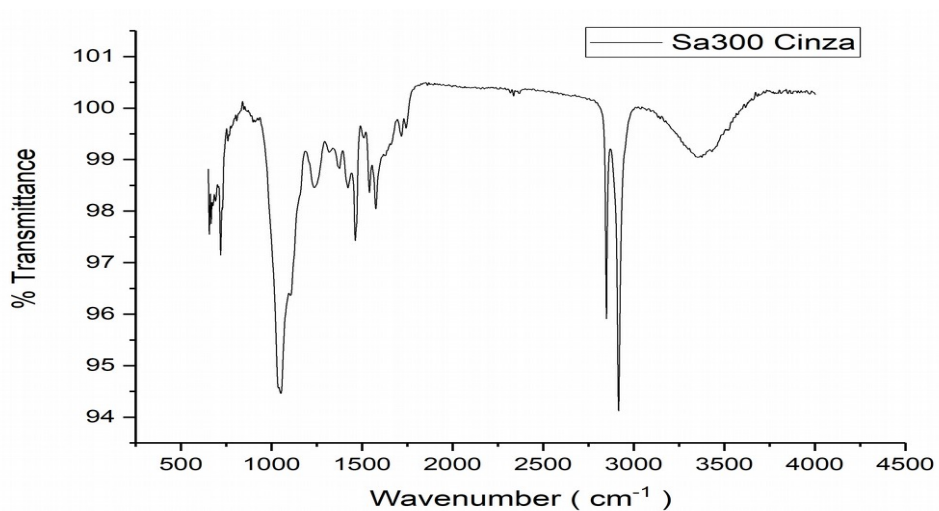


Figura 45: Espectro FT-IR da amostra Sa300 Cinza

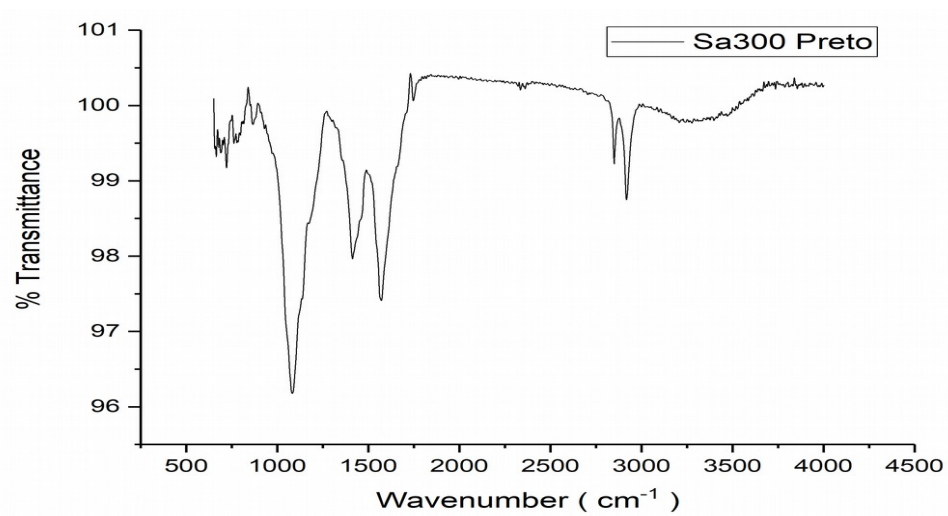


Figura 46: Espectro FT-IR da amostra Sa300 Preto